

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2010**

**Tomáš Klimeš**

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Jednofrekvenční sítě digitálního televizního vysílání**  
**Single Frequency Networks in Digital Video**  
**Broadcasting**

**2010**

**Tomáš Klimeš**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne .....

.....

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Markovi Dvorskému Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při řešení této práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá popisem jednofrekvenčních sítí digitálního televizního vysílání označovaného zkratkou DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), simulací pokrytí jednofrekvenční sítě v Moravskoslezském kraji a analýzou rušení této sítě.

Práce je rozdělena na tři části. První část je zaměřena na popis digitální pozemní televize DVB-T, popis jednofrekvenčních sítí a ortogonální multiplex s frekvenčním dělením OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Obsahem druhé části je samotná realizace pokrytí jednofrekvenční sítě v Moravskoslezském kraji v programu Radiolab. V poslední třetí části je provedena analýza rušení nasimulované jednofrekvenční sítě.

Přínosem této diplomové práce je simulace pokrytí doposud nekompletní jednofrekvenční sítě v Moravskoslezském kraji.

## **Klíčová slova**

DVB, DVB-T, digitální pozemní televize, OFDM, SFN, ochranný interval, Radiolab

## **Abstract**

This thesis deals with the description of single frequency networks, digital television abbreviated as DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), simulation of single frequency network coverage in the moravia-silesia region, and analyzing the interference of the network.

The work is divided into three parts. The first part focuses on the description of digital terrestrial television DVB-T single frequency network and a description of orthogonal frequency division multiplex with OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). The second part contains the actual implementation of single frequency network coverage in the moravia-silesia region in the software Radiolab. In the third part is an analysis of simulated noise single frequency network.

Contribution of this thesis is still incomplete coverage simulation single frequency network in the moravia-silesia region.

## **Keywords**

DVB, DVB-T, Digital Video Broadcasting Terrestrial, OFDM, SFN, guard interval, Radiolab

## Seznam použitých zkratk

<b>APSK</b>	Amplitude and phase-shift keying	Amplitudově fázová modulace
<b>BSH</b>	Bose Chaudhurt Hocquengham	Korekční kód
<b>COFDM</b>	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Kódovaný ortogonální frekvenčně frekvenčně dělený multiplex
<b>D/A</b>	Digital/Analog	Digitálně/analogový převodník
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcasting	Digitální televizní vysílání
<b>DVB-C</b>	Digital Video Broadcasting – Cable	Kabelové digitální vysílání
<b>DVB-H</b>	Digital Video Broadcasting – Handheld	Digitální vysílání PDA přístroje
<b>DVB-S</b>	Digital Video Broadcasting – Satellite	Satelitní digitální vysílání
<b>DVB-T</b>	Digital Video Broadcasting – Terrestrial	Pozemní digitální vysílání
<b>FM</b>	Frequency modulation	Frekvenční modulace
<b>FEC</b>	Forward Error Correction	Samoopravný dopředný kód
<b>GI</b>	Guard Interval	Ochranný interval
<b>GPS</b>	Global Positioning System	Navigační systém
<b>HDTV</b>	High Definition Television	Televize s vysokým rozlišením
<b>HFC</b>	Hybrid Fibre-Coaxial	Hybridní, optickokoaxiální kabely
<b>ITU-R</b>	International Telecommunication Union Radiocommunication	Mezinárodní telekomunikační unie sektor radiokomunikací
<b>LCD</b>	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů
<b>LDPC</b>	Low Density Parity Check	Lineární blokový kód
<b>LNB</b>	Low Noise Block	Satelitní konvertor
<b>MFN</b>	Multi Frequency Network	Multifrekvenční síť
<b>MIP</b>	Megaframe Initialization Packet	Inicializační paket
<b>MPEG</b>	Motion Picture Experts Group	Standard pro komprimaci videa
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonální frekvenčně dělený multiplex
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant	Kapesní počítač
<b>PID</b>	Packet Identifier	Identifikátor paketu
<b>PSK</b>	Phase-shift keying	Fázová modulace
<b>PTS</b>	Programs Transport Stream	Programový transportní tok

<b>QAM</b>	Quadrature Aplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying	Kvadrurní fázová modulace
<b>RS</b>	Reed–Solomon	Reed-Solomonův kód
<b>RX</b>	Receiver	Přijímač
<b>SFN</b>	Single Frequency Network	Jednofrekvenční síť
<b>SYNCH</b>	Synchronization	Synchronizace
<b>TPS</b>	Transmission Parameters Signalling	Signalizační pilotní nosné
<b>TS</b>	Transport Stream	Transportní tok
<b>TV</b>	Television	Televize
<b>TX</b>	Transmitter	Vysílač

# Obsah

1.	Úvod .....	1
2	Standard DVB .....	2
2.1	DVB-T.....	2
2.1.1	Obecný model DVB-T.....	3
2.2	DVB-S .....	5
2.3	DVB-C .....	6
2.4	DVB-H.....	7
3	Jednofrekvenční síť DVB-T .....	8
3.1	Základní princip jednofrekvenčních sítí .....	8
3.2	OFDM modulace .....	10
3.2.1	Varianty OFDM modulace pro DVB-T .....	12
3.2.2	Význam ochranného intervalu.....	14
3.2.3	Struktura OFDM rámce.....	16
3.3	Architektura jednofrekvenční sítě .....	19
3.4	Blokové schéma vysílače jednofrekvenční sítě .....	20
3.5	Další vývoj jednofrekvenčních sítí .....	22
4	Simulace jednofrekvenční sítě.....	24
4.1	Parametry a pokrytí jednotlivých vysílačů .....	27
4.1.1	Ostrava Hošťálkovice .....	29
4.1.2	Ostrava Hladnov .....	31
4.1.3	Frýdek Místek - Lysá hora .....	33



4.2	Pokrytí jednofrekvenční sítě .....	35
5	Analýza rušení jednofrekvenční sítě.....	38
5.1	Nastavení parametrů pro výpočet rušení .....	38
5.2	Rušení v jednofrekvenční síti.....	40
5.3	Situace u jiných jednofrekvenčních sítí .....	43
6	Závěr .....	44
	Použitá literatura .....	45
	Seznam příloh.....	48

## 1 Úvod

V poslední době se čím dál tím více mluví o pozemním digitálním televizním vysílání především v souvislosti s postupným vypínáním pozemního analogového vysílání. Počátky analogové televize v České republice sahají až do roku 1954, kdy bylo započato první pravidelné černobílé vysílání. Dalším důležitým rokem se pro televizi stal rok 1973. V tomto roce začalo probíhat pravidelné barevné vysílání. Dlouhou dobu se však televize nezbavila přídomek analogová. Důvodem bylo technicky náročné převést a šířit televizní signál digitální formou, což bylo vyřešeno až v 90. letech 20. století. V roce 1993 vznikl standard DVB (Digital Video Broadcasting), který popisuje digitální televizi.

V České republice začala digitální televize vysílat od roku 2005. Digitální televizní vysílání má na rozdíl od analogového vysílání řadu výhod. Mezi nejdůležitější patří velká obrazová kvalita. Jednou z dalších výhod digitální pozemní televize je možnost budování jednofrekvenčních sítí televizních vysílačů. U analogové televize bylo potřeba, aby každý televizní vysílač vysílal televizní program na jiném kanále. Digitální vysílače naopak mohou vysílat televizní program na stejném kanále, proto neplýtvají frekvenčním spektrem jako v případě analogových vysílačů. Taková síť digitálních televizních vysílačů se nazývá jednofrekvenční síť SFN (Single Frequency Network).

Úkolem této diplomové práce je popsat princip jednofrekvenčních sítí. Diplomová práce obsahuje 6 kapitol. Ve druhé kapitole je popsán standard DVB včetně 4 hlavních platforem. Dále je v této kapitole podrobněji popsána platforma digitální pozemní televize DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial). Třetí kapitola je věnována hlavní problematice, a to jednofrekvenčním sítím. Věnuje se také popisem systému ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), který je důležitý pro princip funkce jednofrekvenčních sítí. Čtvrtá kapitola nese název Simulace jednofrekvenční sítě. Simulováno bylo pokrytí jednofrekvenční sítě v Moravskoslezském kraji z vysílačů: Ostrava - Hošťálkovice, Ostrava - Hladnov a Frýdek Místek – Lysá hora pro multiplex 1. První dva zmíněné DVB-T vysílače jsou již v provozu. Třetí vysílač Frýdek Místek – Lysá hora bude v provozu od 30. června 2010. V páté kapitole je analýza rušení v simulované jednofrekvenční síti, kde jsou vybrány rušící vysílače.

## 2 Standard DVB

DVB je mezinárodní konsorcium, které bylo vytvořeno televizními společnostmi, výrobci, síťovými operátory, vývojáři softwaru, regulačními organizacemi a dalšími zástupci. Konsorcium bylo založeno v roce 1993 a od té doby se specifikace DVB staly normami v oblasti digitální televize po celém světě. Úkolem DVB je digitální způsob přenosu TV (Television) vysílání, které prostřednictvím tzv. multiplexu umožňuje přenášet několik komprimovaných TV programů v komprimovaném formátu a tak lépe využít přenosové pásmo používané při vysílání analogové TV. DVB standard lze rozdělit na 4 platformy podle způsobu šíření signálu:

- DVB – T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial), pozemní digitální televizní vysílání (viz kapitola 2.1),
- DVB – S (Digital Video Broadcasting – Satellite), satelitní digitální televizní vysílání (viz kapitola 2.2),
- DVB – C (Digital Video Broadcasting – Cable), kabelové digitální televizní vysílání (viz kapitola 2.3),
- DVB – H (Digital Video Broadcasting – Handheld), digitální televizní vysílání pro mobilní příjem (viz kapitola 2.4).

### 2.1 DVB-T

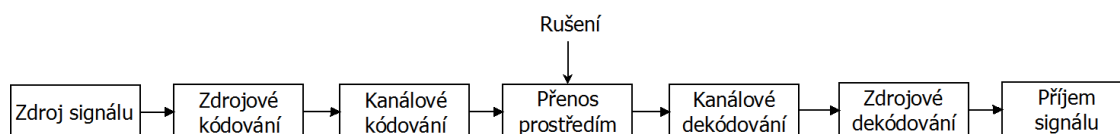
Tato diplomová práce se týká jednofrekvenčních sítí digitální pozemní televize, proto zde bude dále popsána pouze platforma DVB-T. V této platformě digitální televize se signál šíří volným prostorem těsně nad zemí. Používá se síť pozemních vysílačů. Pro příjem se používá běžná televizní anténa, která je připojená k tzv. set top boxu a ten je připojen k televizi. Set top box je zařízení sloužící k převodu digitálního televizního signálu na signál, který jsou schopny zpracovat televize bez digitálního tuneru, tedy signál analogový. Používá se formát MPEG-2 (Motion Picture Experts Group) pro kompresi dat. Pro přenos digitálního televizního signálu se používají frekvence 470 – 842 MHz.

DVB-T využívá efektivněji frekvenční spektrum na rozdíl od analogového vysílání, kde každý program má přidělenou jednu frekvenci. U pozemní digitální televize se přenáší na jedné frekvenci více programů najednou pomocí multiplexu, který obvykle obsahuje 4-5 stanic. Jeden multiplex je schopen přenášet jednosměrný datový tok o rychlosti až 24 Mbit/s. Využívá se modulace kvadrurní fázová modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), kvadrurní amplitudová 16QAM a 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation). [1]

Od roku 2009 se ve Velké Británii testuje nová verze digitální pozemní televize, a to DVB-T2. K nejvýznamnějším změnám patří doplnění modulace 256QAM. Používá kódy LDPC (Low Density Parity Check) a BSH (Bose Chaudhurt Hocquengham), jsou účinné korekční kódy pro opravu chyb vlivem vysoké úrovně šumu a interferencí v kanále. Další významnou změnou je doplnění systému OFDM o režimy 1k, 4k, 16k a 32k, což rozšiřuje možnosti využití standardu jednak pro vyšší rychlosti při mobilním příjmu (1k), jednak pro zvětšení rozměru jednofrekvenčních sítí SFN (32k), příp. kompromisní řešení (4k, 16k). [2]

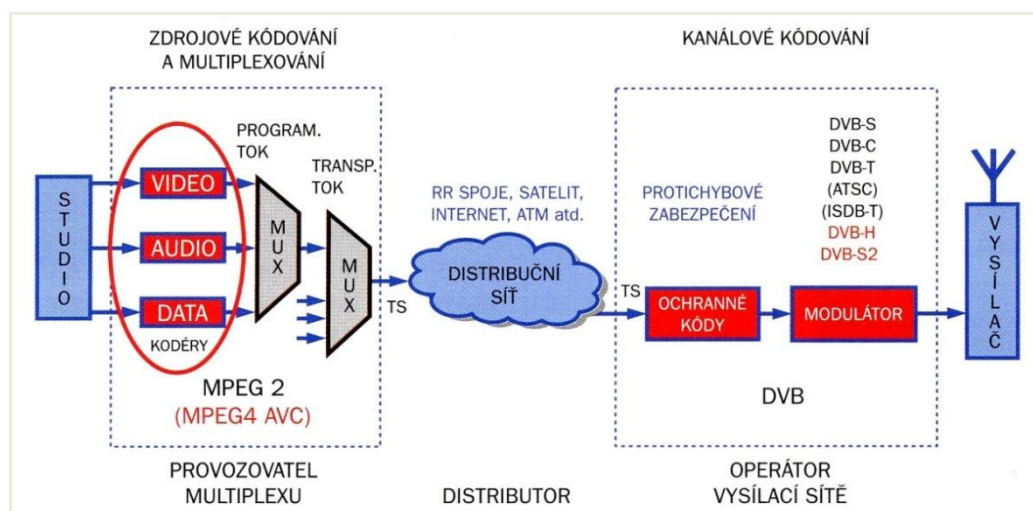
### 2.1.1 Obecný model DVB-T

Obecný model digitální pozemní televize obsahuje zdroj signálu (viz Obr. 2.1), kterým je nejčastěji televizní studio. Následuje zdrojové kódování, které upravuje signál do vhodné podoby pro přenos a odstraňuje redundanci. Kanálové kódování zabezpečí signál proti chybám, které mohou vyskytnout při přenosu prostředím. Kanálové kódování má za úkol také upravit signál pro přenos prostředím.

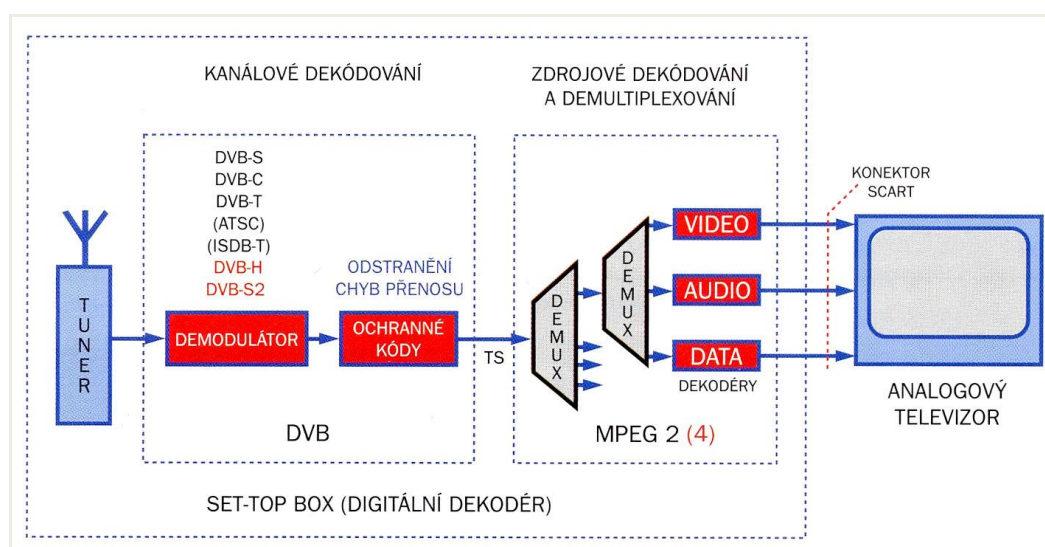


Obr. 2.1: Obecný model digitální pozemní televize (vlastní realizace)

Přenos signálu prostředím nemůže být nikdy ideální. Při přenosu signálu prostředím dochází k rušení a dalším příčinám majícím vliv na šíření elektromagnetických vln ve volném prostoru. Tímto je signál částečně degradován a zkreslen, přijímací strana (tzv. set top box) ho nemůže přijmout v původní nezkreslené podobě. Proto se na přijímací straně (viz. Obr. 2.2) vyskytuje kanálové kódování, které se snaží opravit rušený signál. Opravený signál následuje do dalšího článku řetězce, čímž je zdrojové dekódování. V tomto článku se signál převede do původní podoby jako před článkem zdrojové kódování na vysílací straně (viz. Obr. 2.2 a Obr. 2.3) a předá koncovému příjemci signálu.



Obr. 2.2: Vysílací část digitální televize [3]



Obr. 2.3: Přijímací část digitální televize (tzv. set top box) [3]

### Výhody DVB-T:

- zvýšení počtu programů, zvýšení kvality obrazu a zvuku a poskytování doplňkových služeb,
- možnost přenášet více zvukových doprovodů,
- přenášení i jiných datových toků než vizuálních, např. rozhlasové programy a datové toky dalších služeb pro účely zábavy nebo obchodu,

- volba kvality obrazu a zvuku (včetně kvality HDTV) až do maximálního přenosového toku vybraného módu DVB-T,
- ušetření nákladů na vysílání v přepočtu na jeden program a ušetření přenosové kapacity,
- nabídka vyšších přenosových kapacit na mediální trh,
- optimální využití kmitočtového spektra vlivem možnosti budování jednofrekvenčních sítí.
- kvalitnější příjem hlavně v oblastech s odrazy, které jsou při analogovém přenosu rušivé, při digitálním přenosu však díky ochrannému intervalu nemají takový rušivý vliv,
- realizace jednofrekvenčních vysílacích sítí (SFN), tzn. stejný multiplex programů se vysílá sítí vysílačů na jediném kmitočtu, přičemž tyto vysílače ho vzájemně neruší, naopak, za určitých podmínek podporují. To má zásadní vliv na úsporu kmitočtového spektra,
- použití přenosných přijímačů s jednoduchými anténami, např. v dopravních prostředcích,
- na pokrytí určité oblasti postačují vysílače s menším výkonem.

**Nevýhody:**

- pro příjem DVB-T je nutný digitální přijímač (tzv. set-top box) ke každému analogovému televizoru, v dnešní době už tohle není nevýhoda, protože do moderních televizorů jsou implementovány set-top boxy,
- investice studií do nového vybavení, mohou nastat problémy kvality obrazu při vysílání, když je příliš mnoho programů v multiplexu,
- získání dostatečných investic na vybudování vysílací sítě,
- případný nekvalitní signál může trpět občasnými výpadky obrazu a zvuku,

## 2.2 DVB-S

DVB-S je evropská norma pro vysílání digitální televize přes stacionární družice umístěné na oběžné dráze kolem Země. Jedná se o nejstarší platformu digitální televize z celé rodiny DVB. Tato platforma je v provozu již od poloviny 90. let. DVB-S používá kompresi MPEG-2 pro zmenšení datového toku. Na cestě signálu z družice k parabolické anténě nejsou žádné překážky, které by mohly způsobit odraz, proto nedochází k vícecestnému šíření signálu. Velkou výhodou DVB-S je možnost velkého pokrytí vybrané oblasti, dále velmi vysoká kvalita přenosu díky velké rezervě datového toku. Výhodou přechodu na DVB-S je možnost bohatší programové služby.

Jednotlivé multiplexy jsou modulovány pomocí modulace QPSK. Pro přenos modulovaného signálu se využívá pásmo 11,7 až 12,5 GHz. Přenos se může uskutečňovat v široké škále šířek pásma radiového kanálu od 26 až po 54 MHz (přednostně 27 až 36 MHz, což jsou pásma starší družicové televize s analogovou modulací FM). Při nejširším pásmu 54 MHz a nejslabším kódování se dosáhne nejvyšší přenosové rychlosti 68 Mbit/s, naopak při pásmu 26 MHz a nejdůkladnějším kódování je rychlost jen 19,7 Mbit/s.[4] Takto velké přenosové rychlosti umožňují implementovat televizi s vysokým rozlišením HDTV (High Definition Television). Signál ze satelitu příjemce zachytává pomocí parabolické antény a dále je směřován do LNB (Low Noise Block) konvertoru, ze kterého je veden do DVB-S set-top boxu a následně do televizního přijímače. Nevýhodu představují pořizovací náklady za set-top box a úpravy rozvodů.

Nová verze satelitního digitálního vysílání nese název DVB-S2 a zvyšuje přenosovou účinnost prostřednictvím účinnější komprese i kanálového kódování. Používá se komprese MPEG-4 a nové modulační metody 8PSK, 16APSK a 32APSK. Z toho vyplývá asi 30% nárůst přenosové účinnosti DVB-S2 proti DVB-S za stejných přenosových podmínek v režimu širokopásmového satelitního televizního vysílání.

## 2.3 DVB-C

DVB-C je evropská norma pro vysílání digitální televize kabelovými sítěmi. Pro přenos digitálního televizního signálu se používá současných kabelových televizních rozvodů. Zavádění DVB-C je záležitostí operátorů. Oproti DVB-S se používá jiný způsob modulace a z tohoto důvodu nejsou přijímače mezi sebou kompatibilní. Díky kvalitnímu přenosovému kanálu je možné použít vícecestavové modulace 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM a 256QAM. Pro všechny tyto modulace jsou k dispozici šířky pásma 2 MHz, 4 MHz, 6 MHz, 8 MHz a 10 MHz. Takže např. při použití spektrálně nejefektivnější modulace 256QAM je možné ve standardním kanálu kabelové televize s šířkou pásma 8 MHz přenášet digitální datový tok rychlostí okolo 60 Mbit/s. [5]

Přenosový kanál kabelových sítí se vyznačuje malým zkreslením a nízkou úrovní šumu a rušení. Proto se nepoužívá zabezpečení datového toku vnitřním konvolučním ochranným kódováním FEC 2 (Forward Error Correction). Nevýhodou DVB-C je placená programová nabídka a nároky na kvalitu kabelové sítě. Odrazy v kabelové síti mohou způsobovat rozpadání obrazu a výpadky. Velkou výhodou DVB-C je šifrování. Použitím šifrovací karty lze zpřístupňovat jednotlivé programy. Příjem televizního signálu prostřednictvím DVB-C je

závislý na dostupnosti kabelové sítě v dané oblasti. Kabelové sítě se většinou nacházejí na sídlištích a územích s větším počtem obyvatel.

Novou verzí digitální kabelové televize je DVB-C2. Přednostně je určeno pro digitální vysílání ve vysokém rozlišení HDTV. Pro kompresi se používá kodek H.264. Lze použít modulaci až 4096QAM a dosáhnout tak rychlosti až 85 Mbit/s. [19] Tato rychlost je závislá na ochranném poměru kódového zabezpečení. Pro šíření signálu se používají Hybrid Fibre-Coaxial (HFC) kabely, což jsou kabely pracující na principu toho, že část sítě je vedena optickým vláknem, zatímco část nejbližší k uživateli je vedena koaxiálním kabelem, které jsou optimalizované pro vyšší stupně modulací než DVB-C. Uvažovány jsou kanály s šířkou pásma až 32 MHz.

## 2.4 DVB-H

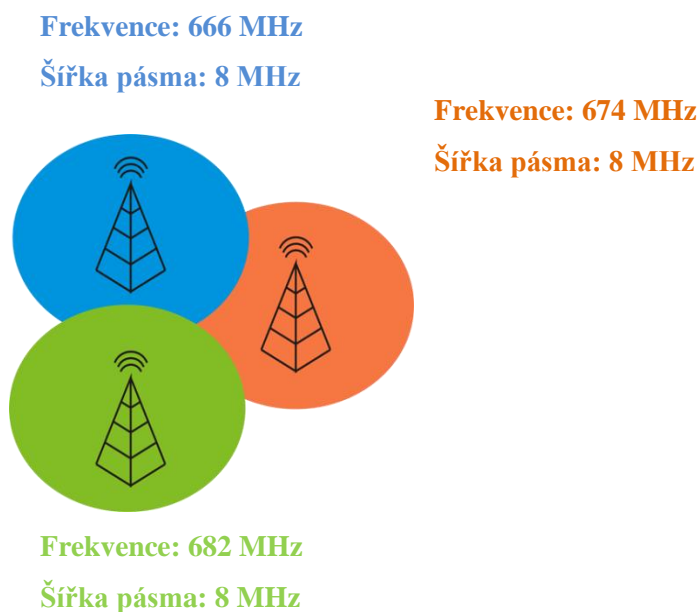
DVB-H je platforma přijatá v listopadu 2004. Popisuje způsob digitálního televizního vysílání pro přenosná zařízení typu mobilní telefon nebo PDA (Personal Digital Assistant). DVB-H je odvozeno od DVB-T a je pouze upraveno pro potřeby mobilního příjmu a přizpůsobuje pozemní digitální vysílání pro přístroje napájené baterií. Do přenášených dat se vkládají pokyny k vypínání a zapínání energeticky náročných obvodů mobilního přístroje (bez narušení kontinuálního dekódování obrazu a doprovodného zvuku). [7] Vysílání je proto na příjem energeticky méně náročné. Pro přenos digitálního televizního signálu se používá systém OFDM v módu 4k a lze vybírat z šířky pásma: 5, 6, 7, 8 MHz. Příjem televizního signálu probíhá v menších rozlišeních, obrazové rozlišení 360 x 288 bodů [7] je pro mobilní přístroje plně dostačující. V DVB-H se datový tok komprimuje pomocí standardu H.264 (MPEG-4). Jednou z největších předností DVB-H je nejvyšší kapacita programových kanálů. Jeden multiplex může přenášet až 40 stanic.



## 3 Jednofrekvenční síť DVB-T

### 3.1 Základní princip jednofrekvenčních sítí

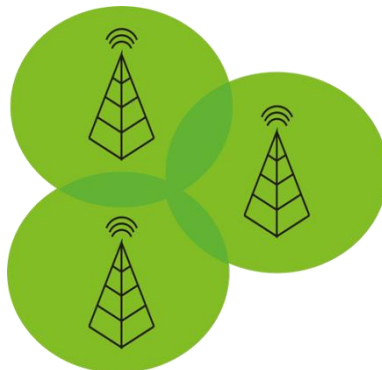
Se vznikem digitálního pozemního vysílání DVB-T se rozšířil tzv. pojem jednofrekvenční síť SFN (Single Frequency Network). U analogové televize musí každý vysílač pracovat na jiné frekvenci, aby nedocházelo k rušení (viz Obr 3.1). Taková síť vysílačů je nazývána jako multifrekvenční. Jednofrekvenční síť digitálních televizních vysílačů, jak již název napovídá, pracuje na jedné frekvenci (viz Obr. 3.2). Rozmach jednofrekvenčních sítí zapříčinil vznik modulace OFDM použitý u DVB-T. Tento systém činí digitální televizní signál necitlivým vůči vícecestnému šíření. Vícecestné šíření způsobuje u analogového signálu rušení. DVB-T je oproti více odraženým signálům šířícím se s různým časovým rozestupem výrazně odolnější. Zdrojem těchto odražených signálů mohou být odrazy jednoho vysílače, ale i jiného vysílače, který šíří stejný multiplex. A právě s těmito dvěma myšlenkami (avšak nejen jimi), potlačení rušení signálu a využití jednoho kanálu více vysílači, byla modulace OFDM do DVB-T zapracována.[5]



Obr. 3.1: Multifrekvenční síť vysílačů (MFN) [7]

**Frekvence: 682 MHz**

**Šířka pásma: 8 MHz**



*Obr. 3.2: Jednofrekvenční síť vysílačů (SFN) [7]*

#### **Výhody SFN sítě:**

- efektivní využití kmitočtového pásma (na jednom kmitočtu se šíří multiplex více programů s pokrytím poměrně velkého území),
- efektivnější vynaložení energie potřebné na vysílání TV programu,
- v případě výskytu úniků signálu (hluboké údolí) v pokrytí lze tyto úniky (mezery v spektru signálu) vyplnit.

#### **Nevýhody SFN sítě:**

- vysílač, který porušuje pravidla SFN sítě, se stává rušivým,
- důležitá je přesná synchronizace (čas, frekvence, informace),
- neustálé monitorování vlastností SFN sítě.

## 3.2 OFDM modulace

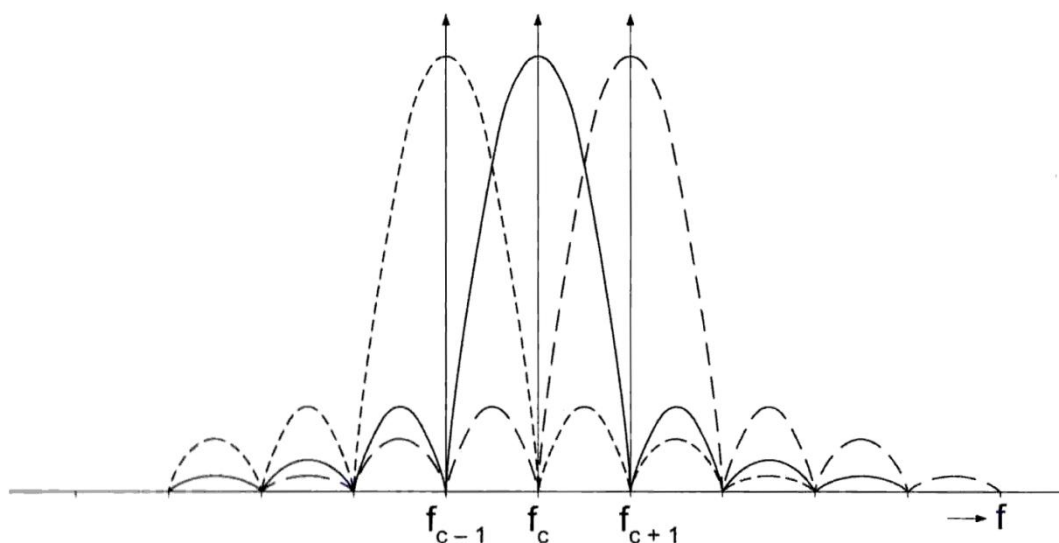
Téměř od počátku elektrického přenosu informací asi tak před 100 lety byly používány pro přenos informací metody přenosu na jediné frekvenci. Nevýhodou této metody je, že v přenosovém kanálu dochází k nežádoucímu ovlivňování přenášené informace vlivem šumu, impulzního rušení, interferencí s jinými zdroji vysokofrekvenčního signálu a také vlivem mnohacestného šíření. Aby se dosáhlo vyšších přenosových rychlostí, bylo potřeba rozšířit frekvenční pásmo. V důsledku zvyšování šířky frekvenčního pásma se však přímo úměrně projevuje šum. U pozemního vysílání signálů může vlivem odrazů docházet k negativním mezisymbolovým interferencím. Všechny tyto aspekty vedly k vytvoření tzv. OFDM modulaci.

Pro pochopení fungování jednofrekvenčních sítí digitálního televizního vysílání je nutné znát princip modulace OFDM. DVB-T využívá ortogonální frekvenčně dělený multiplex (OFDM). Pro potřebu šíření digitálního pozemního televizního signálu bylo do OFDM implementováno kódování. Ortogonální frekvenčně dělený multiplex spolu s kódováním se také často značí zkratkou COFDM. Kódování pomáhá zabezpečit přenášený signál proti chybám, které se na cestě od vysílače k přijímači (set-top boxu) mohou vyskytnout. Modulace OFDM pracuje na principu převodu jednoho sériového datového toku do více nosných. Jde tedy o soustavu velkého počtu nosných, které jsou vzájemně k sobě v ortogonalitě, kdy platí (viz vzorec 1):

$$f_k = k \cdot f_0 \quad (1) [9]$$

kde  $f_0$  je základní nosná v pořadí a  $k$  je celé kladné číslo.

Při šíření signálu modulovaného pomocí OFDM vzniká minimální vzájemné rušení jednotlivých nosných, které jsou navzájem ortogonální, tzn., že jejich skalární součin je rovný nule. Na obrázku Obr. 3.4 je znázorněn příklad obsazení spektra jednotlivými nosnými. Z obrázku vyplývá, že minimum spektra sousední nosné spadá do maxima vedlejší nosné. Modulace OFDM je charakterizována vysokou odolností proti mezisymbolovým interferencím ohrožující pozemní vysílání digitálních signálů vlivem odrazů (vícenásobného příjmu).



Obr. 3.4: Příklad uspořádání nosných v systému OFDM [9]

Každá nosná je modulována nezávisle na ostatních a nese své vlastní informace nezávisle na ostatních nosných. Každá nosná je dále modulována některou z modulací QPSK, 16QAM a 64QAM modulací. [12]

Pro kanály se šířkou frekvenčního pásma 8 MHz, používané pro pozemní digitální televizi v České republice (přesná hodnota frekvenčního pásma je 7,61 MHz), platí pro rozestup nosných kmitočtů, který představuje současně symbolovou rychlost (viz vzorec 2):

$$\Delta f = R_s = B_k / n = 7,61 \cdot 10^6 / 6817 = 1,116 \text{ kHz} \quad (2) [13]$$

kde  $\Delta f$  je rozestup nosných kmitočtů,  $R_s$  je symbolová rychlost,  $B_k$  je frekvenční šířka pásma a  $n$  je počet nosných.

Délku užitečného symbolu (symbol nesoucí informaci) lze vypočítat ze vzorce 3:

$$T_U = (R_s)^{-1} = (1,116 \cdot 10^3)^{-1} = 896 \mu s \quad (3) [13]$$

kde  $T_U$  je délka užitečného symbolu a  $R_s$  je symbolová rychlost.

### 3.2.1 Varianty OFDM modulace pro DVB-T

**Základní rozdělení je podle počtu nosných:**

- režim 2k – používá 1705 nosných v jednom televizním kanálu o šířce pásma 8 MHz, doba trvání užitečného symbolu je 224  $\mu$ s,
- režim 4k – používá 3409 nosných v jednom televizním kanálu o šířce pásma 8 MHz, tento režim je určený pro DVB-H, doba trvání užitečného symbolu je 448  $\mu$ s,
- režim 8k - používá 6817 nosných v jednom televizním kanálu o šířce pásma 8 MHz, doba trvání užitečného symbolu je 896  $\mu$ s.

**Podle šířky pásma jednoho přenosového kanálu se systémy DVB-T dělí na:**

- šířka pásma 8 MHz – používá se pro Evropu,
- šířky pásma 7 MHz, 6 MHz a 5 MHz se liší pouze vzorkovacím kmitočtem.

**Podle použité modulace:**

- QPSK - kvadrurní fázová modulace, modulační metoda uplatňovaná na jednotlivé nosné frekvence OFDM. Méně výkonná proti QAM, ale velmi robustní. Jeden symbol nabývá 4 stavů a lze jím tedy přenést naráz 2 bity informace jednou nosnou vlnou, používá se u DVB-S,
- 16QAM – kvadrurní amplitudová modulace, uplatňuje se na jednotlivé nosné OFDM. Jeden symbol nabývá 16 stavů a lze současně přenést 4 bity informace jednou nosnou vlnou,
- 64QAM - kvadrurní amplitudová modulace, používá se na modulaci jednotlivých nosných OFDM. Jeden symbol nabývá 64 stavů a lze jím přenést současně 6 bitů informace jednou nosnou vlnou, používá se u DVB-T.

Tabulka Tab. 3.1 zobrazuje jednotlivé varianty DVB-T podle použité modulace, kódového poměru a přenosové rychlosti v závislosti na ochranném intervalu. Z tabulky je patrné, že čím robustnější je kódový poměr použit, tím menší je přenosová rychlost jednoho multiplexu (kanálu). Přenosová rychlost také závisí na použitém ochranném intervalu; čím je ochranný interval delší, tím je přenosová rychlost nižší.

Tab. 3.1: Varianty DVB-T (pro šířku pásma přenosového kanálu 8 MHz) [8]

Varianta systému	Modulace	Kódový poměr	Přenosová rychlost [Mbit/s]			
			$D/T_U = 1/4$	$D/T_U = 1/8$	$D/T_U = 1/16$	$D/T_U = 1/32$
A1	QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	QPSK	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	QPSK	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	QPSK	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	QPSK	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	16QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	16QAM	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	16QAM	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
B5	16QAM	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
B7	64QAM	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	64QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
C2	64QAM	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	64QAM	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	64QAM	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	64QAM	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

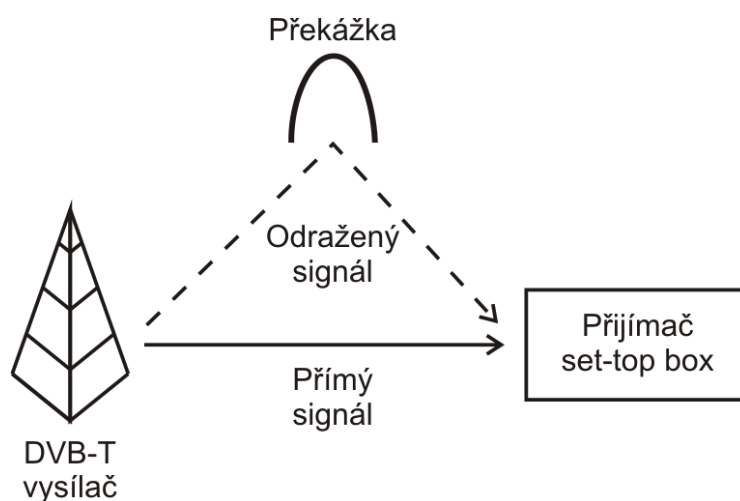
**V ČR se nejčastěji používá varianta C2:**

- 1. stupeň protichybové ochrany - RS kód (188, 204, 8)
- 2. stupeň protichybové ochrany - konvoluční kód 2/3
- OFDM režim 8k
- modulace 64QAM
- ochranný interval 1/4
- užitečný přenosový tok 19,91 Mbit/s [8]

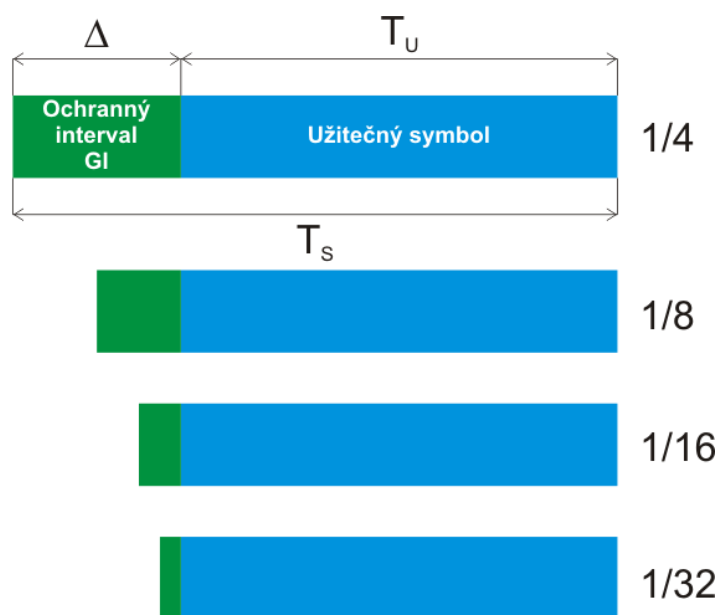
### 3.2.2 Význam ochranného intervalu

Obrázek 3.5 znázorňuje šíření signálu z vysílače k přijímači (set-top boxu). Signál se z vysílače šíří nejprve přímou cestou. Tento signál dorazí do místa příjmu s největší amplitudou a nejmenším zpožděním, protože tomuto signálu nebrání v šíření žádná překážka. Signál vystupující z vysílače se však odráží i od přítomných překážek (terénní nerovnosti, budovy atd.) a dorazí do místa příjmu i jinou cestou než signál přímý. Tento jev se nazývá vícecestné šíření. Odražené signály dorážejí do místa příjmu s nižší amplitudou a s větším zpožděním. Aby nedocházelo k překrývání symbolů, používá se metoda vkládání ochranného intervalu GI (Guard Interval). Celková doba trvání symbolu se prodlouží o délku ochranného intervalu (viz Obr. 3.6). Po příchodu užitečného signálu přijímač přestane po dobu ochranného intervalu zachytávat zpožděné odrazy, které by užitečný signál degradovaly. Tímto způsobem se eliminuje příjem nežádoucích odrazů, ze kterých by přijímač nedokázal získat užitečné informace. [8]

U jednofrekvenčních sítí SFN je zvláště důležitý ochranný interval z toho důvodu, že v místě příjmu mezi dvěma digitálními vysílači přijímá přijímač dva přímé a více odražených signálů. Důležité jsou signály, které se k přijímači dostanou přímou cestou. Délka trvání ochranného intervalu je v síti SFN přímo úměrná maximální vzdálenosti dvou a více vysílačů.



Obr. 3.5: Vícecestné šíření signálu (vlastní návrh)



Obr. 3.6: Možnosti ochranného intervalu v systému DVB-T [8]

Délka ochranného intervalu se udává jako poměr vůči délce trvání užitečného symbolu  $T_U$ . Ochranný interval se vkládá před užitečný symbol (viz Obr. 3.6). Délka celkového symbolu je tedy součtem délky užitečného symbolu  $T_U$  a délky ochranného intervalu  $\Delta$ . Tabulka Tab. 3.2 znázorňuje poměry ochranných intervalů, jejich délky a vzdálenosti vysílačů.

Tab. 3.2: Parametry ochranných intervalů GI [11,12]

Délka symbolu [ $\mu$ s]	Poměr GI	Délka GI [ $\mu$ s]	Vzdálenost vysílačů [km]
896	1/4	224	67,1
896	1/8	112	33,6
896	1/16	56	16,8
896	1/32	28	8,4

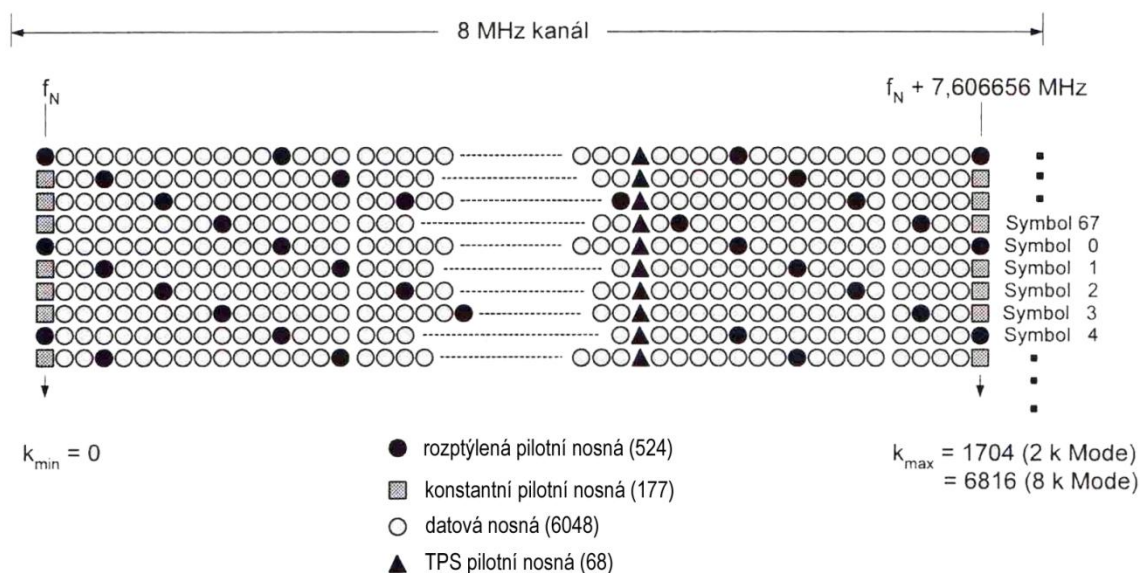
V jednofrekvenčních sítích v České republice se většinou používá ochranný interval 1/4. Tento ochranný interval představuje při volbě počtu nosných 8k a délce trvání užitečného symbolu 896  $\mu$ s délku trvání ochranného intervalu 224  $\mu$ s (viz Tab. 3.2). Vzdálenost vysílačů je dána násobkem délky ochranného intervalu a rychlostí světla ve vakuu ( $c = 299792458$  m/s) [12]. Pro ochranný interval 1/4 (224  $\mu$ s) je maximální vzdálenost vysílačů 67,1 km. U kratších



ochranných intervalů je tato vzdálenost logicky menší. Z toho plyne, že čím delší ochranný interval, tím větší maximální možná vzdálenost vysílačů. Mohlo by se zdát, že pro pokrytí celé České republiky digitálním televizním signálem by stačila jedna jednofrekvenční síť s velkými ochrannými intervaly. Musíme ale brát v úvahu, že čím je ochranný interval delší, tím klesá přenosová rychlost. Proto se musí volit určitý kompromis mezi délkou ochranného intervalu a přenosovou rychlostí.

### 3.2.3 Struktura OFDM rámce

Datový tok je v DVB-T tvořen OFDM rámcem. Rámce jsou umístěny v přenosovém kanále o šířce pásma 8 MHz. Každý rámec obsahuje 68 OFDM symbolů. Jeden symbol se skládá z informací, které přenáší 6817 nosných. Uspořádání rámce je vidět na obrázku Obr. 3.7. Jak je vidět z obrázku, některé nosné nepřenášející data jsou modulovány pouze pilotními signály. Úkolem těchto signálů je přenášet některé systémové informace. V případě nejběžnějšího systému 8k OFDM u DVB-T je to 177 nosných s pořadím 0, 48, 54, 87 ... 6816. Dále se vysílají tzv. rozptýlené pilotní nosné, které jsou umístěny spolu s daty na 524 nosných a konečně pilotní nosné TPS určené k přenosu pomocných dat (nesou informace o modulaci, hierarchii, ochranném intervalu a módu OFDM), které se vysílají na 68 nosných. Vlastní data jsou vysílána na celkem 6048 nosných. [9]



Obr. 3.7: Uspořádání rámce DVB-T [9]

**Rámce se podle počtu dělí na:**

- 1 rámec = 68 OFDM symbolů
- 1 superrámec = 4 rámce
- 1 megarámec = 2 superrámce

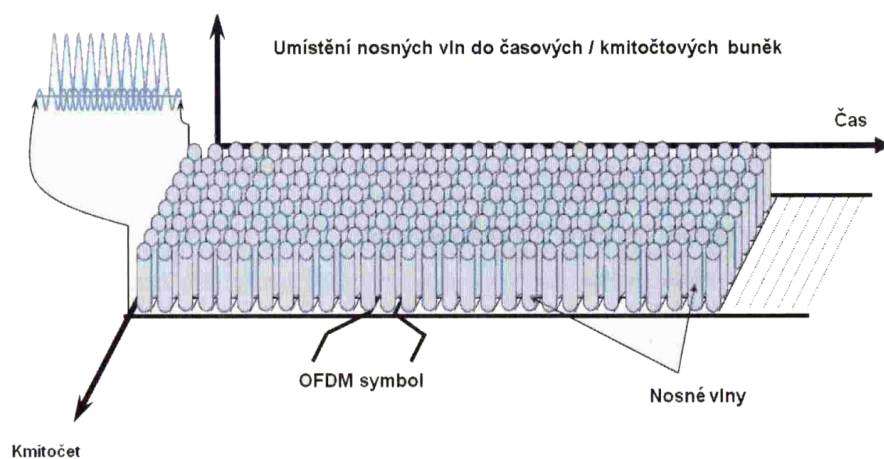
*Tab. 3.3: Parametry režimů 8k, 4k a 2k (pro šířku pásma přenosového kanálu 8 MHz)[8]*

Parametr	Režim 8k	Režim 4k	Režim 2k
Počet nosných K	6817	3409	1705
Hodnota čísla nosné $K_{\min}$	0	0	0
Hodnota čísla nosné $K_{\max}$	6816	3408	1704
Trvání $T_u$	896 $\mu$ s	448 $\mu$ s	224 $\mu$ s
Vzdálenost nosných $1/T_u$	1116 Hz	2232 Hz	4464 Hz
Vzdálenost mezi nosnými $K_{\min}$ a $K_{\max}$	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz

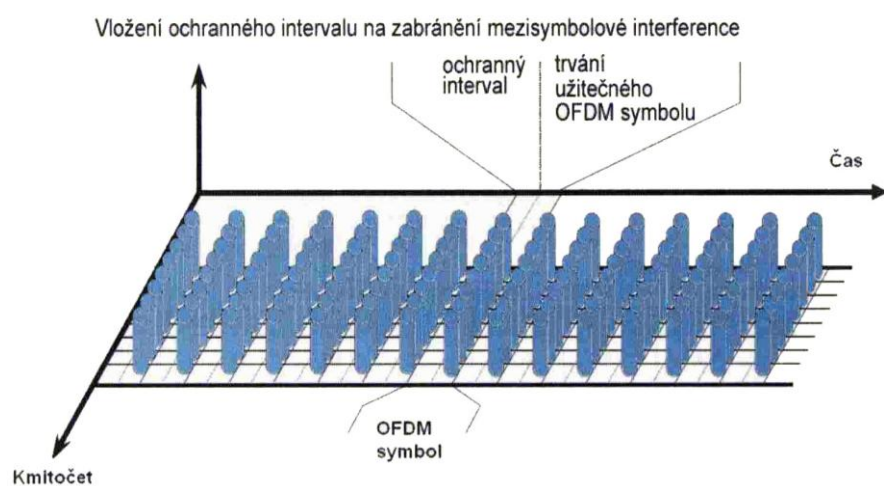
OFDM modulace umožňuje využití různých režimů podle počtu nosných. Tabulka Tab. 3.3 zobrazuje režimy OFDM modulace 8k, 4k a 2k. Z tabulky je patrné, že čím větší počet nosných (větší režim), tím je větší doba trvání užitečného symbolu  $T_u$ .

Na obrázku Obr. 3.8 je vyobrazeno umístění nosných do časových kmitočtových buněk. Obrázek je pouze ilustrativní, protože v režimu OFDM 8k je 6817 nosných. Z obrázku je patrné, že jeden symbol se skládá z 6817 nosných.

Obrázek Obr. 3.9 ilustruje vkládání ochranného intervalu za jednotlivé OFDM symboly. Konec každého OFDM symbolu, jehož délka odpovídá délce ochranného interval (1/4, 1/8, 1/16 nebo 1/32), je zkopírován na začátek tohoto symbolu. Tím se prodlouží doba trvání jednoho OFDM symbolu a omezí se mezisymbolové interference. [15]

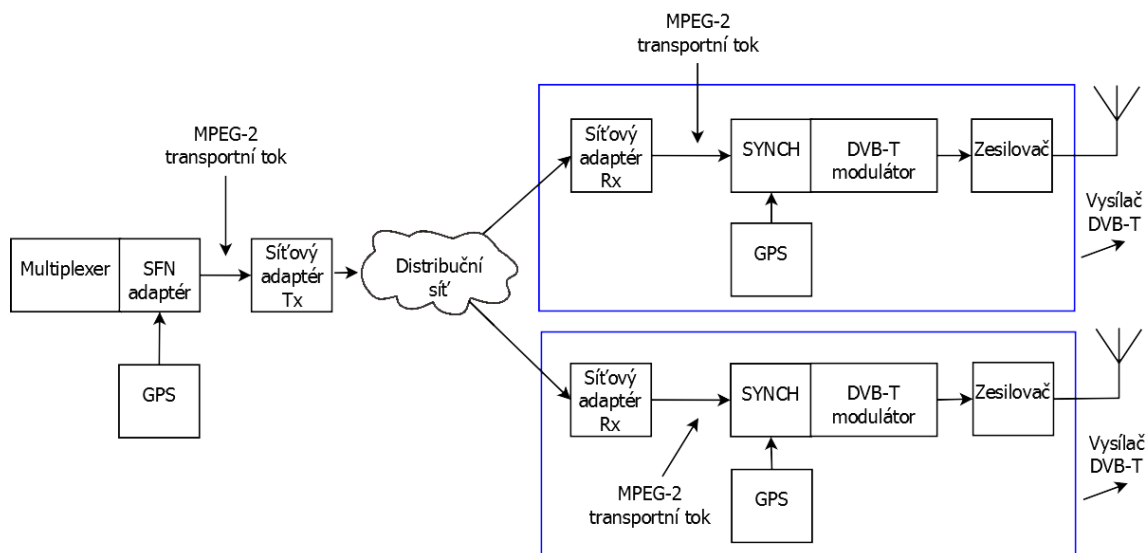


Obr. 3.8: Umístění nosných do časových kmitočtových buněk [8]



Obr. 3.9: Vkládání ochranného intervalu [8]

### 3.3 Architektura jednofrekvenční sítě



Obr. 3.10: Základní blokové schéma SFN sítě [8]

V jednofrekvenční síti musí být všechny jednotlivé vysílače synchronizované. Každý vysílač musí vysílat naprosto identické OFDM symboly ve stejnou dobu. Signál se synchronizuje za multiplexorem v SFN adaptéru (viz. Obr. 3.10). Synchronizace probíhá pomocí navigačního systému GPS (Global Positioning System). GPS systém se využívá pro stanovení přesného času důležitého pro synchronizaci. Transportní datový tok se v SFN adaptéru opatří tzv. MIP paketem (Megaframe Initialization Packet). MIP paket se vkládá na začátek megarámce.[14] Délka megarámce závisí na délce ochranného intervalu a na šířce pásma kanálu (viz Tab 3.4). MIP paket má zvláštní označení PID (Packet Identifier) 0x15, takže jej lze identifikovat a obsahuje všechny potřebné informace na synchronizování celé sítě SFN pomocí GPS signálu z družice.

Následně je transportní datový tok přiveden k síťovému adaptéru. Pak je transportní datový tok šířen k jednotlivým SFN vysílačům přes distribuční síť pomocí satelitního spoje, radioreléového spoje, nebo přes optické rozhraní. Při šíření signálu distribuční sítí k jednotlivým SFN vysílačům dochází k různým zpožděním, proto na straně vysílače je přijímač distribučního signálu. Distribuční signál s MIP pakety se synchronizuje signálem GPS. V budiči se vytvoří nosné signály COFDM, pak nosný kmitočet (analogový nosný kmitočet), který je modulován signálem COFDM. Každý modulátor COFDM následně provede díky synchronizaci každý operační krok zcela synchronně se všemi ostatními

COFDM modulátory v síti. Výstupní vysokofrekvenční signál v analogové podobě je zesílen na požadovanou výkonovou úroveň a pak filtrován (filtr harmonický, kanálový filtr). [8]

*Tab. 3.4: Délka megarámce v závislosti na ochranném intervalu a na kanálu [12]*

Ochranný interval	8 MHz kanál [s]	7 MHz kanál [s]	6 MHz kanál [s]
1/4	0,609280	0,696320	0,812373
1/8	0,548352	0,626688	0,731136
1/16	0,517888	0,597172	0,690517
1/32	0,502656	0,574464	0,670208

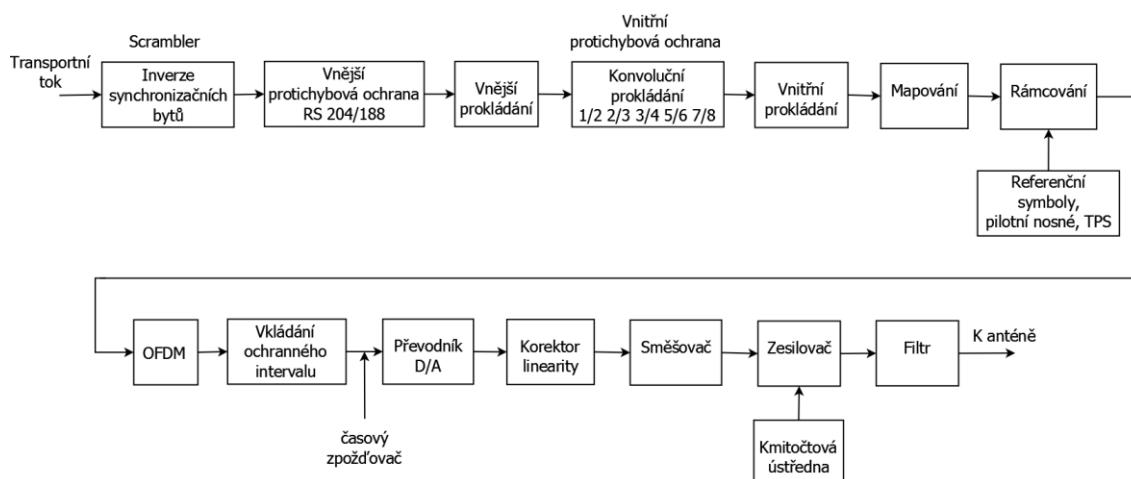
Pokud přenos paketů MIP přestane z nějakého důvodu pracovat, nebo v případě, že informace v paketech MIP jsou poškozeny, jednofrekvenční síť ztratí synchronizaci. Vysílač bude v této situaci jednofrekvenční síť rušit a je nutné jej odstavit.

**Aby síť SFN správně pracovala, je nutné splnit několik přísných podmínek:**

- odchylka frekvence nosných musí být maximálně 1 % jejich vzájemné frekvenční vzdálenosti, u systému 8k je to tedy maximálně 11 Hz,
- multiplex musí být synchronizován s přesností nejvýše 10 % ochranného intervalu (v případě 1/4 tedy méně než 22,4  $\mu$ s), to znamená, že totožná informace musí u všech vysílačů SFN sítě vystupovat z vysílací antény téměř ve stejný okamžik,
- musí být synchronizace do posledního bitu, aby byly symboly vysílány ve stejném okamžiku, identické bity na identických nosných u všech vysílačů s nulovou tolerancí,
- energetický disperzál musí být také synchronní, vyžaduje se, aby začátek vysílání náhodné posloupnosti byl stejný.

### 3.4 Blokové schéma vysílače jednofrekvenční sítě

Zapojení digitálního pozemního televizního vysílače se nachází na obrázku Obr. 3.11. Digitální signál vstupuje do vysílacího řetězce ve formě transportního toku TS (Transport Stream). Tento TS tok obsahuje celý multiplex, tzn., že obsahuje soubor programů komprimovaný ve formátu MPEG-2.



Obr. 3.11: Blokové schéma DVB-T vysílače [9]

Transportní tok nejprve vstupuje do scrambleru, kde se provede energetická disperze. Vynásobí se transportní tok pseudonáhodnou posloupností. Takto vynásobený signál je energeticky rozprostřený, tím nevznikají velké napěťové špičky, které by vyžadovaly velkou výkonovou rezervu v dalších stupních. Aby přijímač mohl takto rozprostřený signál znovu obnovit, dostává informaci ze synchronizačních bitů, které nejsou podrobeny disperzi a jsou po každých 8 paketech invertovány. Signál je rozložený do paketů o velikosti 188 bajtů a postupuje dále do bloku vnější protichybové ochrany. Pro vnější protichybovou ochranu je použit Reed-Solomonův (204,188) kód, který ke každému paketu o velikosti 188 bajtů doplní 16 zabezpečovacích bajtů. Vznikne tedy paket o velikosti 204 bajtů a Reed-Solomonův (204,188) kód je schopen v tomto paketu opravit až 8 bajtů.

V dalším bloku vysílacího řetězce dochází k vnějšímu prokládání. Jednotlivé bajty jsou zapisovány do příslušné paměti po řádcích, ale čtení probíhá po sloupcích. Důvodem zavedení vnějšího prokládání je fakt, že v případě jedné větší poruchy se porucha rozštěpí do různých menších poruch rozprostřených v různých oblastech signálu.

Po bloku vnějšího prokládání následuje blok vnitřní protichybové ochrany. Jako ochrana proti chybám se využívá konvoluční kódování s různými poměry kódování: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 a 7/8. Čitatel zlomku udává počet informačních bitů a jmenovatel celkový počet včetně zabezpečovacích bitů. Kódové poměry 1/2 a 2/3 jsou nejrobustnější za cenu nižšího užitečného bitového toku. Všechna protichybová opatření se také označují zkratkou FEC (Forward Error Correction), což se dá přeložit jako systém dopředné ochrany.

Dále následuje blok vnitřního prokládání. Umožňuje potlačit vliv selektivní poruchy přenosu, která by mohla vymazat celou skupinu sousedních nosných. Cílem vnitřního prokládání je rozprostření případné vzniklé poruchy na řadu malých výpadků jednotlivých nosných rozložených v rozsahu rámce. Vnitřní prokládání pracuje na podobném principu jako prokládání vnější.

Od bloku mapování nastává vlastní modulační proces. Signál vstupuje do mapovacího obvodu, kde se přiřazuje jednotlivým symbolům příslušné místo v konstelačním diagramu. Poté je signál zpracován do jednotlivých rámců a doplněn pomocnými daty (pilotní nosné, symboly TPS).

V dalším kroku následuje OFDM modulace. Provádí se pomocí inverzní Fourierové transformace a rozdělí signál na velký počet nosných. Následně se vloží ochranný interval. U SFN vysílače je také umístěn časový zpožďovač, který vyše požadovaný signál zároveň s ostatními vysílači. V D/A převodníku je převeden signál z číslicové podoby na analogovou formu a je předkorigována nelinearita výkonového stupně. Pak se pomocí směšovače přeloží do příslušné vysokofrekvenční polohy. Následuje výkonový (koncový) stupeň, který přes výstupní filtr napájí vysílací anténu. [9]

### 3.5 Další vývoj jednofrekvenčních sítí

Jak je již uvedeno v kapitole 3.2, jednofrekvenční síť digitální pozemní televize jsou závislé na ortogonálním multiplexu s frekvenčním dělením OFDM, takže vývoj jednofrekvenčních sítí se odvíjí od vývoje OFDM. Nová verze standardu DVB-T2 přinese oproti verzi DVB-T režim OFDM 32k (viz Tab. 3.5). Nový režim má za následek zvětšení užitečného symbolu z 896  $\mu$ s (v případě DVB-T) na 3584  $\mu$ s (v případě DVB-T2). Z toho vyplývá, že se změní i délka ochranných intervalů. Ochranný interval 1/4 bude dlouhý 896  $\mu$ s a ochranný interval 1/8 bude dlouhý 448  $\mu$ s. Maximální vzdálenost mezi dvěma vysílači tak bude u ochranného intervalu 1/4 269 km a u ochranného intervalu 1/8 134 km. Oproti maximální vzdálenosti dvou vysílačů u DVB-T je to čtyřnásobné zvětšení vzdálenosti u DVB-T2.

Tab. 3.5: Srovnání DVB-T a DVB-T2 (rozdíly jsou označeny červeně) [13]

	DVB-T				DVB-T2			
Režim	8k				32k			
Počet nosných	6817				27265			
Počet aktivních nosných	6048				24192			
Počet referenčních nosných	769				3073			
Odstup nosných [Hz]	1116				279			
Šířka pásma [MHz]	7,6							
Užitečný symbol [μs]	896				3584			
Ochranný interval (GI)	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/32	1/128
Ochranný interval [μs]	224	112	56	28	896	448	112	28
Maximální vzdálenost vysílačů [km]	67,1	33,6	16,8	8,4	269	134	33,6	8,4
Modulační schémata	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM							

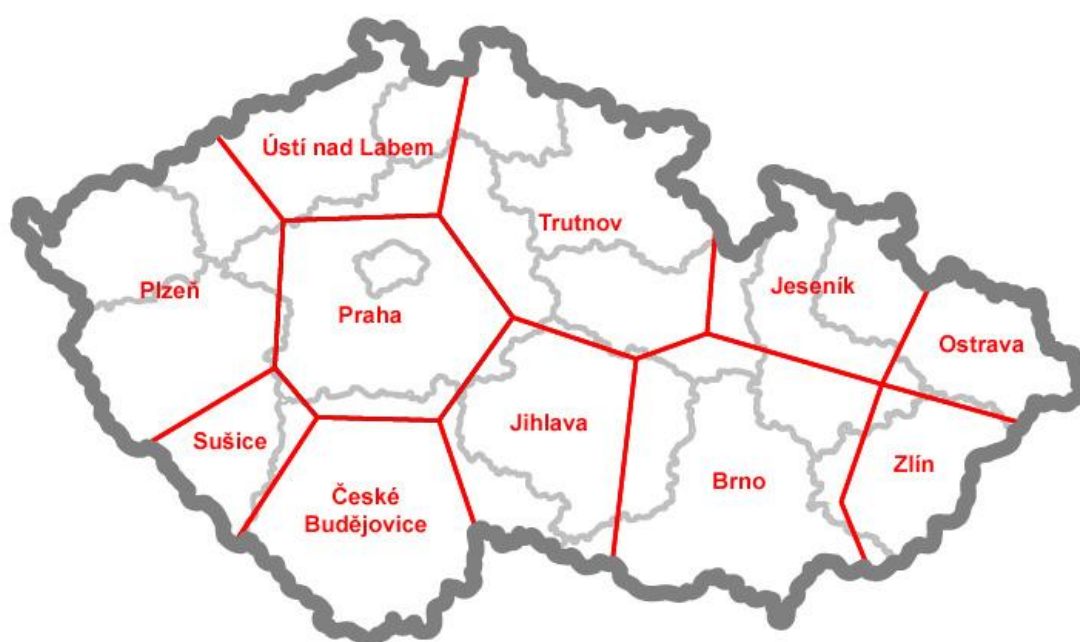
K další změnám patří také doplnění modulačního módu 256QAM, který jedním stavem nosné vlny přenáší současně 8 bitů, což je umožněno zlepšeným protichybovým zabezpečením.

Za zmínku stojí, že podle názoru konsorcia DVB zůstává pro přechod z analogového na digitální vysílání nadále ideální standard DVB-T. S plným nasazením standardu DVB-T2 se počítá až po ukončení analogového vysílání a podstatném rozšíření vysílání HDTV. První zemí, která zavedla vysílání HDTV ve standardu DVB-T2, byla koncem roku 2009 Velká Británie. Počítá se s programem BBC a bitovou rychlostí 11 Mbit/s, později budou do multiplexu začleněny další 2 nebo 3 multiplexy. [13]



## 4 Simulace jednofrekvenční sítě

Simulace jednofrekvenční sítě televizních vysílačů jsem prováděl v programu RadioLab 3.6 v nastavbě SFN. RadioLab je program vytvořený pro analýzu a vizualizaci šíření rádiových signálů. Jedná se o inženýrský systém pro řešení základních úloh při analýze a návrhu radiokomunikačních systémů pro služby plošného pokrytí (mobilní služby, analogová a digitální televize a rozhlas), systémů point to multipoint a mikrovlnných směrových spojů.



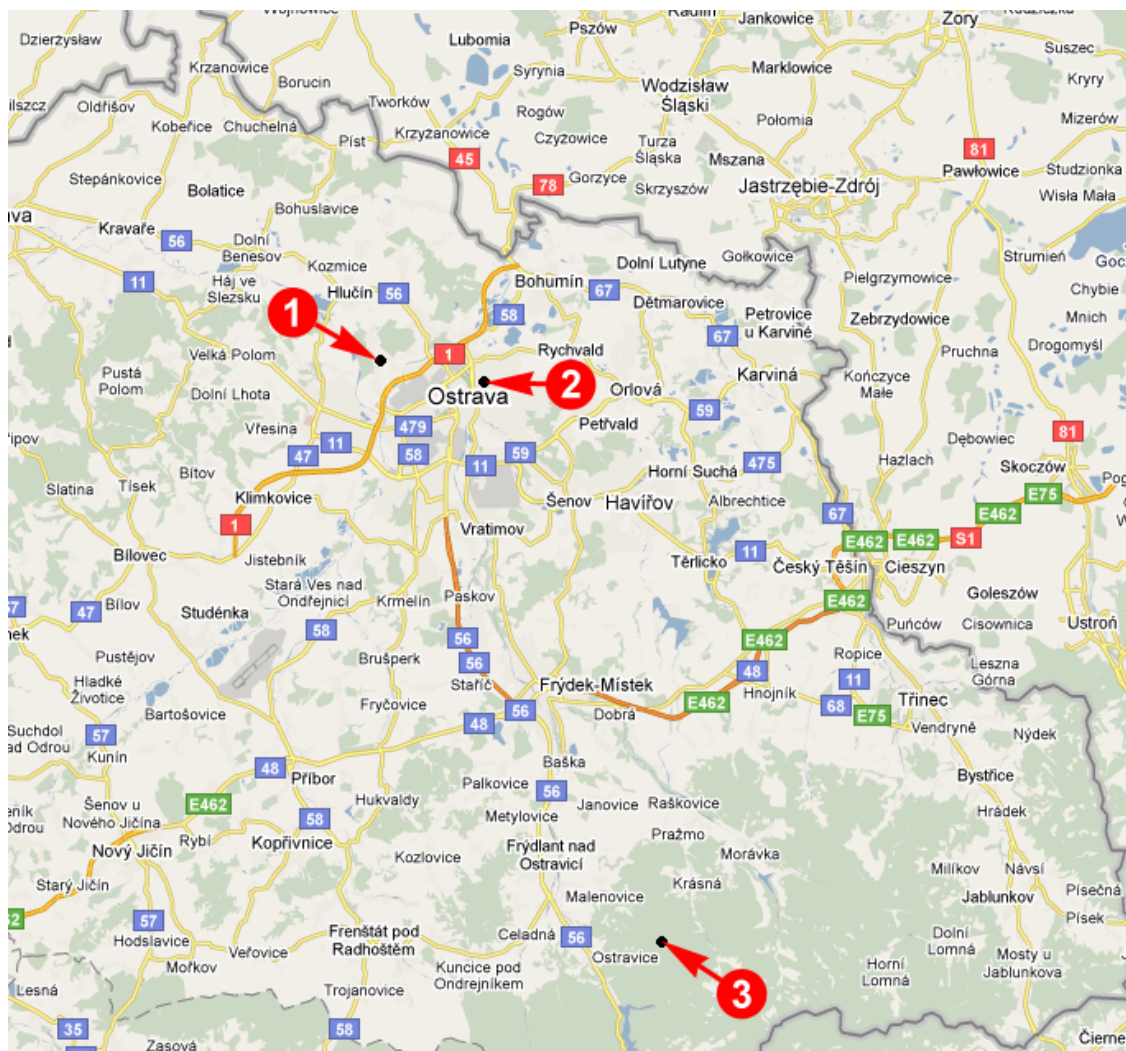
Obr. 4.1: Rozdělení České republiky do ucelených oblastí pro přechod na pozemní digitální vysílání [9]

Česká republika je v rámci digitalizace rozdělená do 11 ucelených oblastí (viz. Obr. 4.1). Diplomová práce se zabývá simulací pokrytí jednofrekvenční sítě digitálních vysílačů v Moravskoslezském kraji v multiplexu 1. Digitální vysílání v Moravskoslezském kraji nabízí signál multiplexu 1 na kanále 54 (738 MHz) s televizními programy ČT 1, ČT 2, ČT 24, ČT 4 Sport a sedmi programy Českého rozhlasu (viz. Obr. 4.2). [10]

Obr. 4.2: Programový obsah veřejnoprávního multiplexu 1 [10]

O pokrytí televizním signálem multiplexu 1 se v Moravskoslezském kraji starají vysílače Ostrava Hošťálkovice (na Obr. 4.3 bod 1) a Ostrava Hladnov (na Obr. 4.3 bod 2). Třetí vysílač Frýdek Místek – Lysá hora (na Obr. 4.3 bod 3) by měl být v provozu od 30. června 2010. Všechny tři vysílače budou tvořit jednofrekvenční síť multiplexu 1 a měly by pokrýt celé území Moravskoslezského kraje.



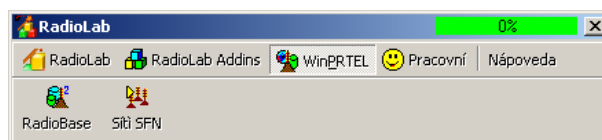
Obr. 4.3: Orientační mapa s vysílači (vlastní realizace)

#### GPS souřadnice jednotlivých vysílačů:

- |                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| 1) Ostrava Hošťálkovice      | loc:49°51'41 18°12'45 |
| 2) Ostrava Hladnov           | loc:49°50'51 18°18'19 |
| 3) Frýdek Místek – Lysá Hora | loc:49°32'46 18°26'55 |

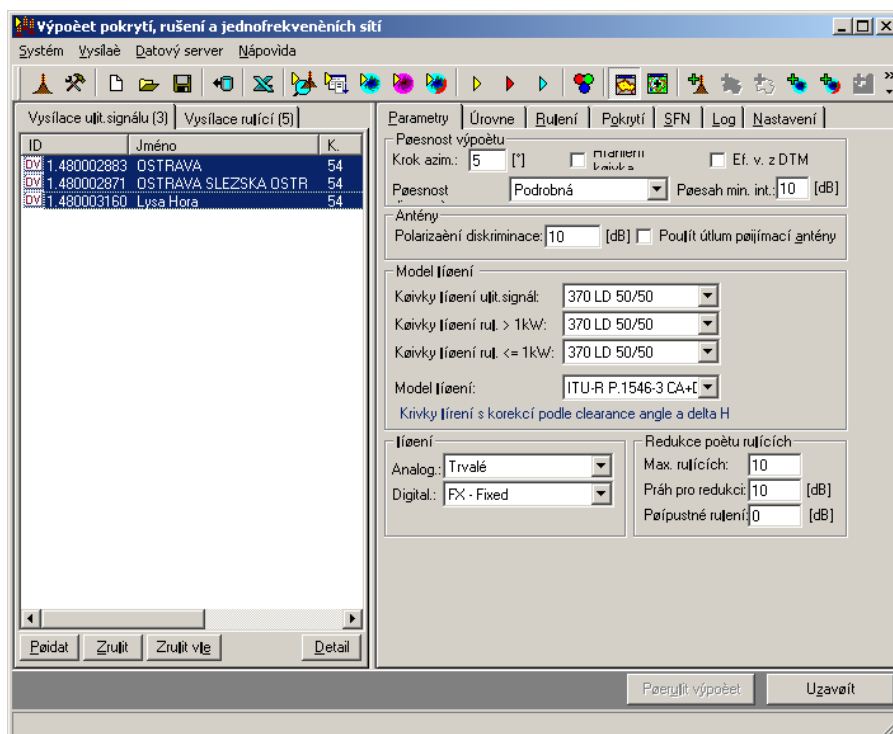
## 4.1 Parametry a pokrytí jednotlivých vysílačů

Pro modelování pokrytí jednotlivých vysílačů v programu Radiolab je nejdříve nutné si spustit nastavbu Sítě SFN, která se nachází v záložce WinPRTTEL (viz. Obr. 4.4).



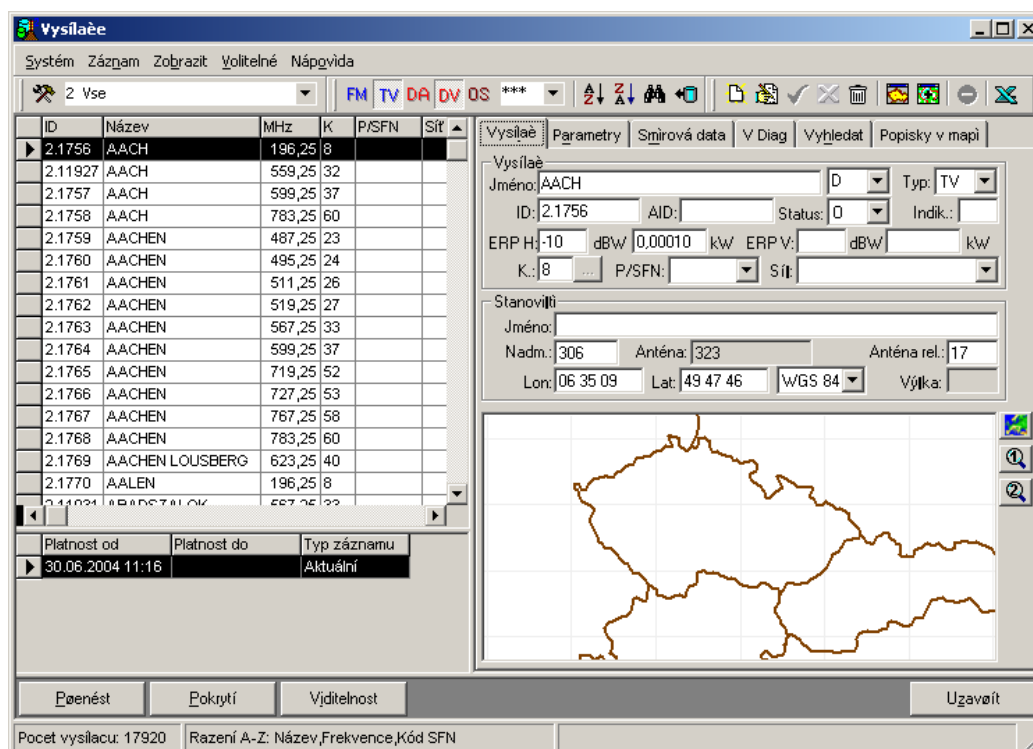
Obr. 4.4: Okno Radiolabu s ikonou **Sítě SFN**

Po spuštění nastavby **Sítě SFN** se objeví okno s názvem **Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí** (viz Obr. 4.5). V tomto okně lze přidávat vysílače užitečného signálu kliknutím na tlačítko **Přidat**.



Obr. 4.5: Okno **Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí**

Po kliknutí na tlačítko **Přidat** se objeví okno **Vysílače** (viz Obr. 4.6). V tomto okně lze vybrat vysílač z databáze vysílačů anebo ručně přidat nový vysílač přes menu **Záznam – Nový**.

Obr. 4.6: Okno *Vysílače*

Vybraný vysílač lze přes tlačítko **Přenést** importovat do seznamu **Vysílačů užitečných signálů** (viz Obr. 4.5). Další možností je vypočítat pokrytí vybraného vysílače přes tlačítko **Pokrytí**. Okna pro výpočet pokrytí jednotlivých vysílačů jsou uvedeny na obrázcích Obr. 4.8, Obr. 4.11 a Obr. 4.14.

#### Nastavené parametry pro výpočet pokrytí jednotlivých vysílačů:

Model šíření:

- Křivky šíření: 370 LD 50/50
- Metoda: ITU-R P.1546-3 CA+DH

Koeficient zakřivení Země  $K = 4/3$

Metoda ITU-R P.1546-3 CA+DH se používá pro výpočet pokrytí pozemních signálů ve frekvenčním rozsahu 30 MHz, až 3 000 MHz, což se hodí pro simulaci pokrytí DVB-T signálem. Zkratka CA+DH značí metodu šíření podle clearance angle a delta H, která lépe zohledňuje nerovnosti terénu (nadmořskou výšku), a tak zpřesňuje výsledky pokrytí.

Všechny simulace byly provedeny pro intenzitu signálu od 56 dB do 110 dB

### 4.1.1 Ostrava Hošťálkovice



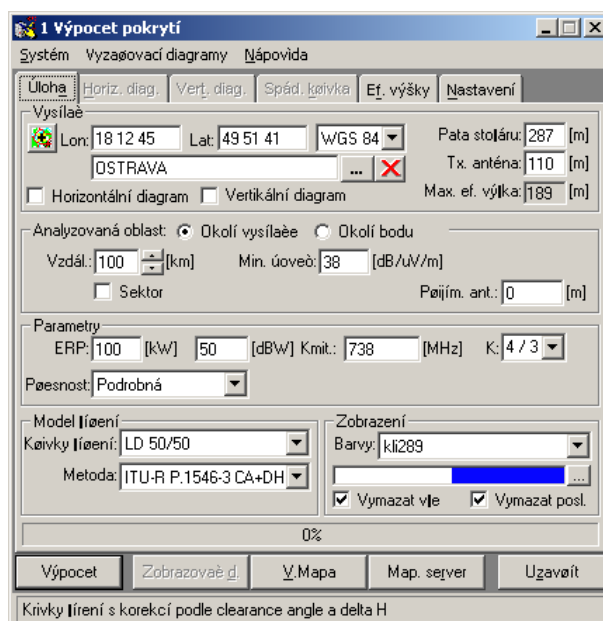
*Obr. 4.7: Vysílač Ostrava Hošťálkovice [16]*

Vysílač (viz. Obr. 4.7) se nachází v Ostravě v části Hošťálkovice v nadmořské výšce 287 m a výška antény je 110 m. Multiplex 1 se začal vysílat od 1. března 2009 nejprve s omezeným výkonem na 14 kW a následně od 1. listopadu 2009 s plným výkonem 100 kW. V tabulce Tab. 4.1 se nacházejí parametry vysílače, pokrytí signálem na Obr. 4.9.

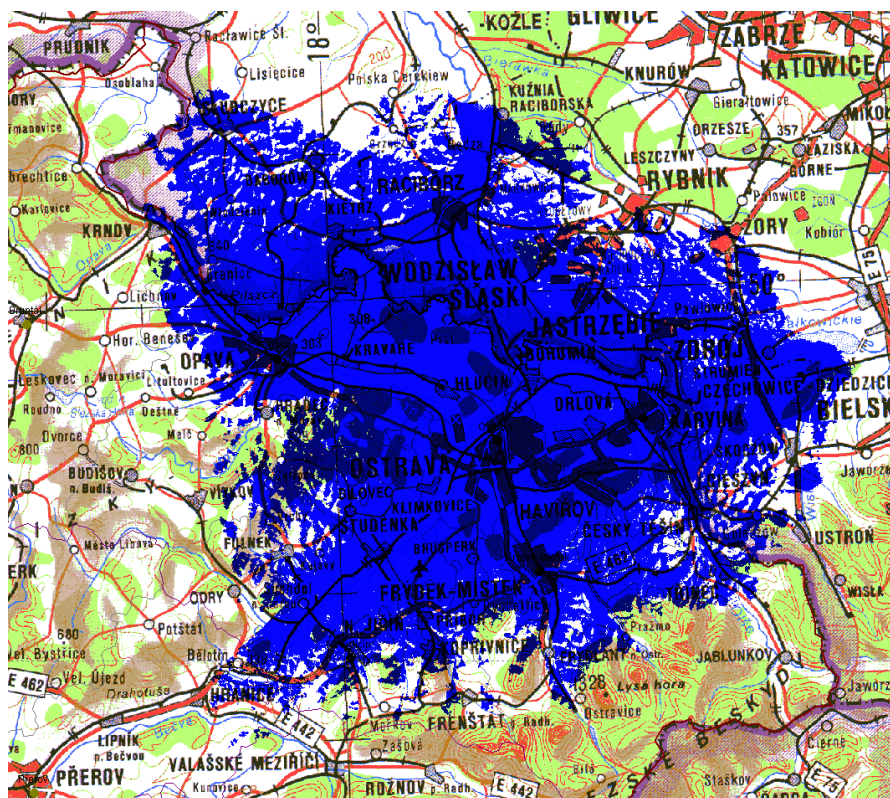
*Tab. 4.1: Parametry vysílače*

<b>Přenosový kanál</b>	54 (738 MHz)
<b>Šířka pásma kanálu</b>	8 MHz
<b>Výkon vysílače</b>	100 kW
<b>Konstelace</b>	64QAM
<b>OFDM režim</b>	8k
<b>Kódový poměr</b>	2/3
<b>Ochranný interval</b>	1/4 (224 $\mu$ s)
<b>Nadmořská výška</b>	287 m
<b>Výška antény</b>	110 m





Obr. 4.8: Nastavené parametry v Radiolabu



Obr. 4.9: Pokrytí vysílačem Ostrava Hošťálkovice, měřítko 1:500 000 (min. úroveň 38 db/uV/m)

(podrobnější mapa viz Příloha 2, Obr. 1)

### 4.1.2 Ostrava Hladnov



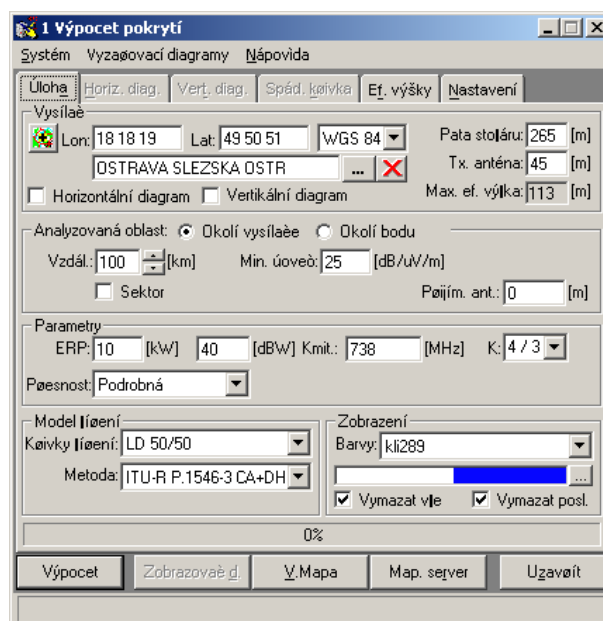
*Obr. 4.10: Vysílač Ostrava Hladnov [17]*

Vysílač (viz. Obr. 4.10) se nachází v Ostravě v části Slezská Ostrava na vodojemu ve výšce asi 45 m. Multiplex 1 se začal z tohoto vysílače vysílat 31. října 2008 na 54. kanále. V tabulce Tab. 4.2 se nacházejí parametry vysílače, pokrytí signálem na Obr. 4.12.

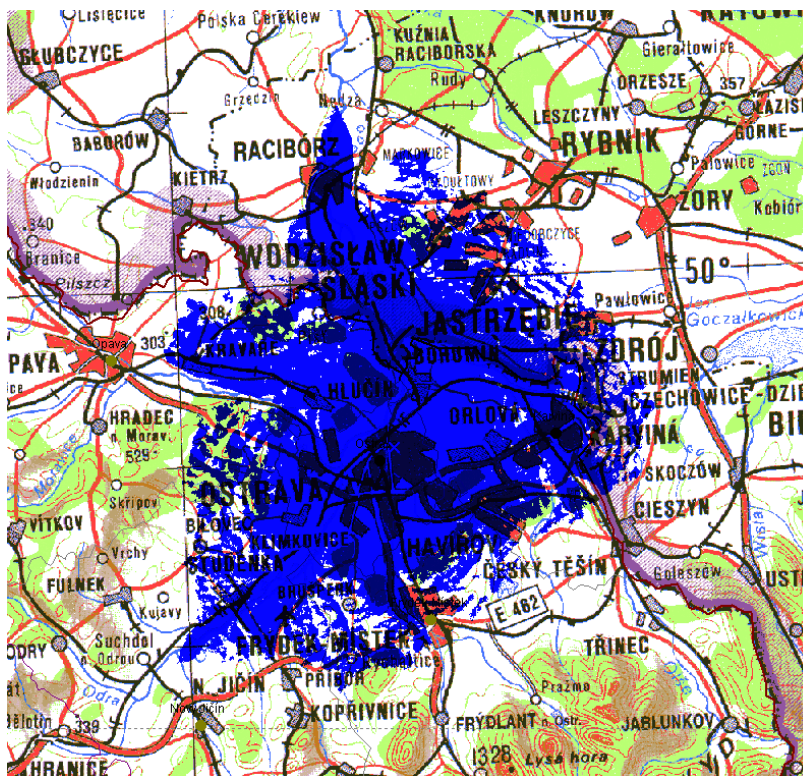
*Tab. 4.2: Parametry vysílače*

<b>Přenosový kanál</b>	54 (738 MHz)
<b>Šířka pásma kanálu</b>	8 MHz
<b>Výkon vysílače</b>	100 kW
<b>Konstelace</b>	64QAM
<b>OFDM režim</b>	8k
<b>Kódový poměr</b>	2/3
<b>Ochranný interval</b>	1/4 (224 $\mu$ s)
<b>Nadmořská výška</b>	265 m
<b>Výška antény</b>	45 m





Obr. 4.11: Nastavené parametry v Radiolabu



Obr. 4.12: Pokrytí vysílačem Ostrava Hladnov, měřítko 1:500 000 (min. úroveň 25 db/uV/m)

(podrobnější mapa viz Příloha 2, Obr. 2)

### 4.1.3 Frýdek Místek - Lysá hora

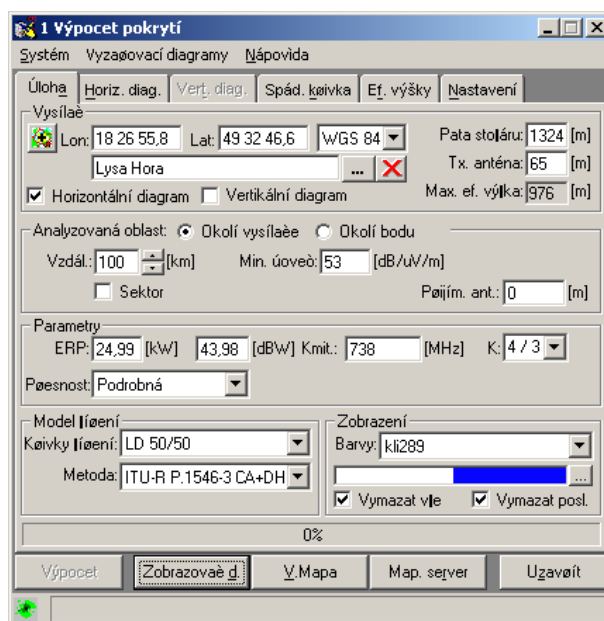


Obr. 4.13: Vysílač Frýdek Místek - Lysá Hora [18]

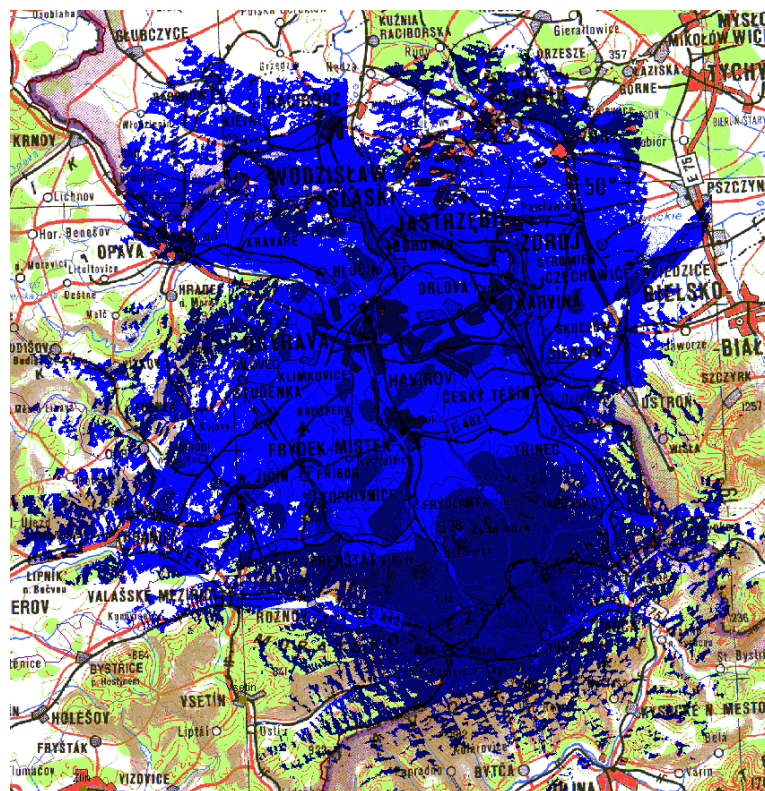
Vysílač (viz. Obr. 4.13) se nachází na nejvyšší hoře Moravskoslezských Beskyd, na Lysé hoře (v nadmořské výšce 1324 m.n.m). Výška budovy vysílače je 78 m a je tvořena třemi navzájem spojenými částmi. Digitální vysílání z tohoto vysílače bude zahájeno 30. června 2010. Vysílač Frýdek Místek - Lysá hora vytvoří jednofrekvenční síť s dvěma dalšími vysílači multiplexu 1 v ostravských Hošťálkovicích a Hladnově. V tabulce Tab. 4.3 se nacházejí parametry vysílače, pokrytí signálem na Obr. 4.15.

Tab. 4.3: Parametry vysílače

<b>Přenosový kanál</b>	54 (738 MHz)
<b>Šířka pásma kanálu</b>	8 MHz
<b>Výkon vysílače</b>	100 kW
<b>Konstelace</b>	64QAM
<b>OFDM režim</b>	8k
<b>Kódový poměr</b>	2/3
<b>Ochranný interval</b>	1/4 (224 $\mu$ s)
<b>Nadmořská výška</b>	1324 m
<b>Výška antény</b>	64 m



Obr. 4.14: Nastavené parametry v Radiolabu



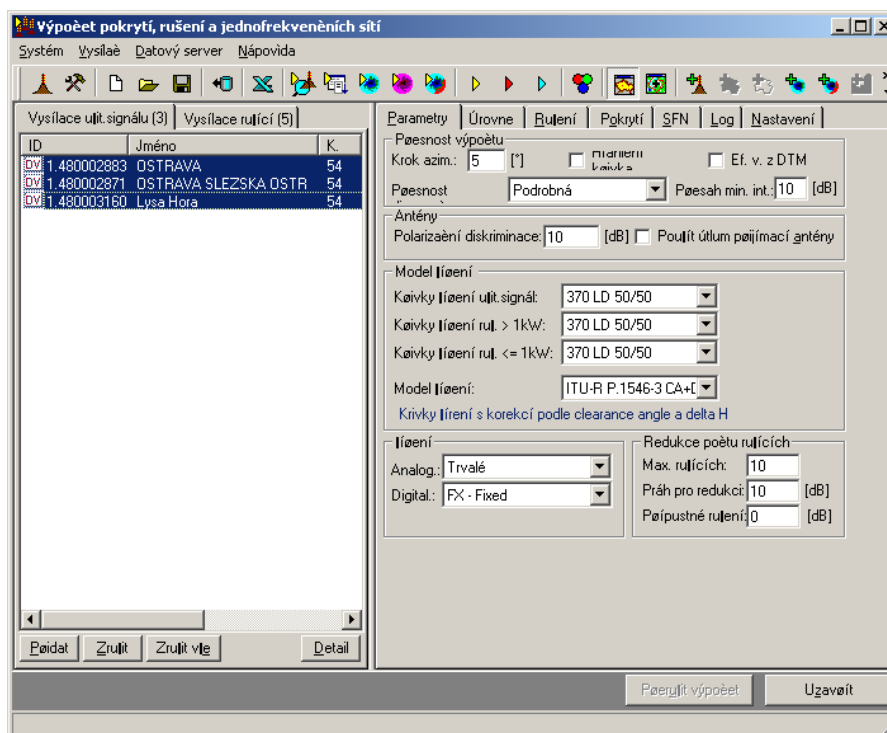
Obr. 4.15: Pokrytí vysílačem Frýdek Místek - Lysá hora, měřítko 1:500 000(min. úroveň 53 db/μV/m) (podrobnější mapa viz Příloha 2, Obr. 3)

## 4.2 Pokrytí jednofrekvenční sítě

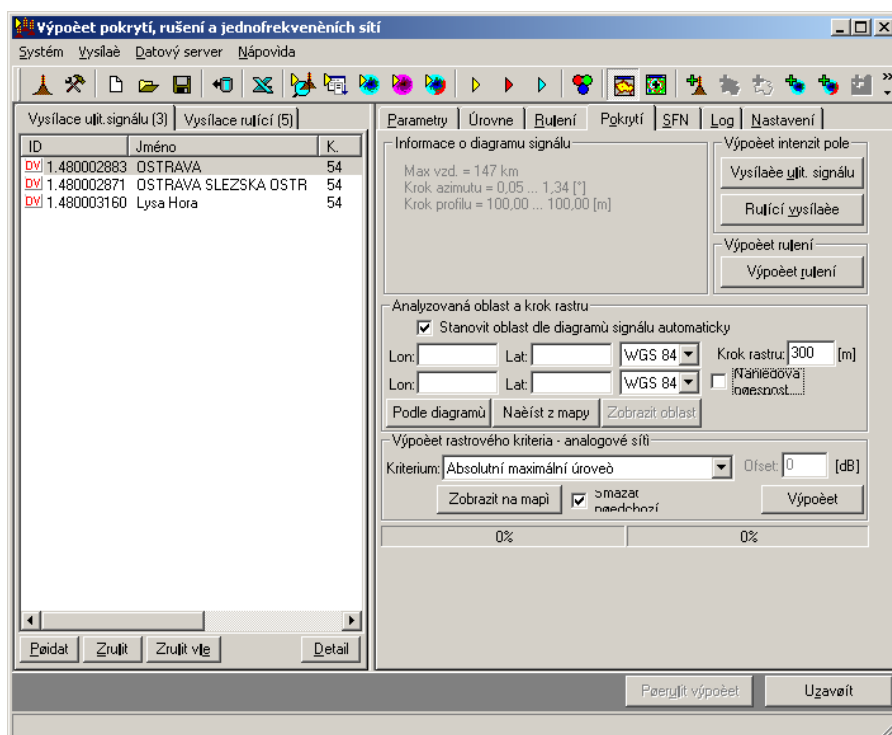
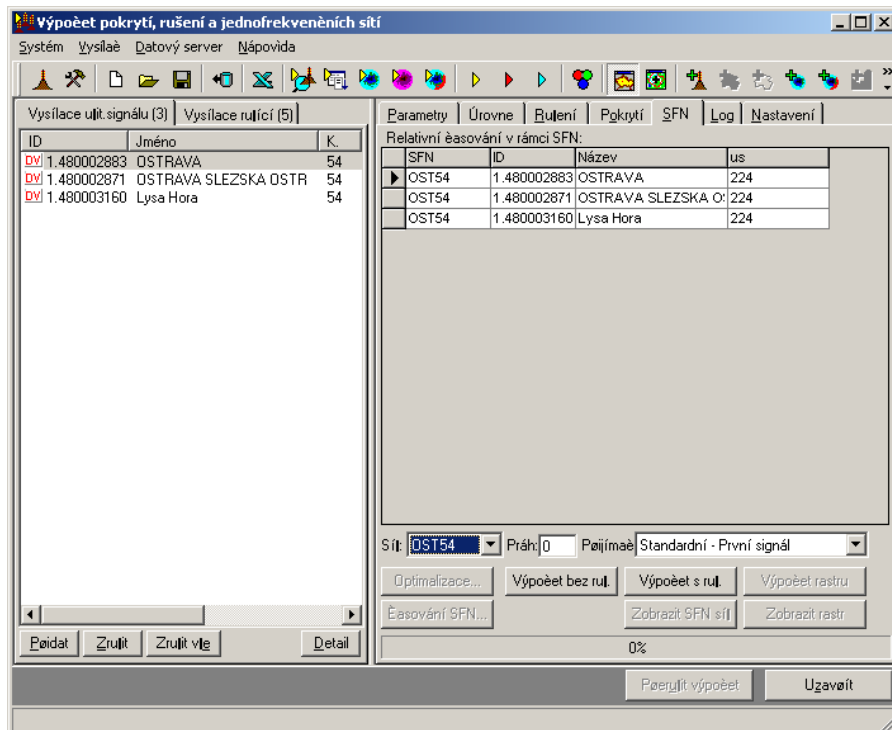
Pro výpočet pokrytí jednofrekvenční sítě je nejprve nutné přidat vysílače do okna **Vysílače užitečného signálu** (Obr. 4.16, viz Tab. 4.4, viz také kapitola 4.1). Poté je potřeba se přepnout na záložku **Pokrytí** a kliknout na tlačítko **Vysílače užitečného signálu** v sekci **Výpočet intenzit pole** (viz Obr. 4.17). V dalším kroku je potřeba se přesunout na záložku **SFN** (viz Obr. 4.18) a kliknout na tlačítko **Výpočet bez rušení**. Až se daná úloha vypočítá, kliknout na tlačítko **Zobrazit SFN síť** a zobrazí se mapa s vypočítaným pokrytím (viz Obr. 4.19).

Tab 4.4: Tabulka užitečných vysílačů

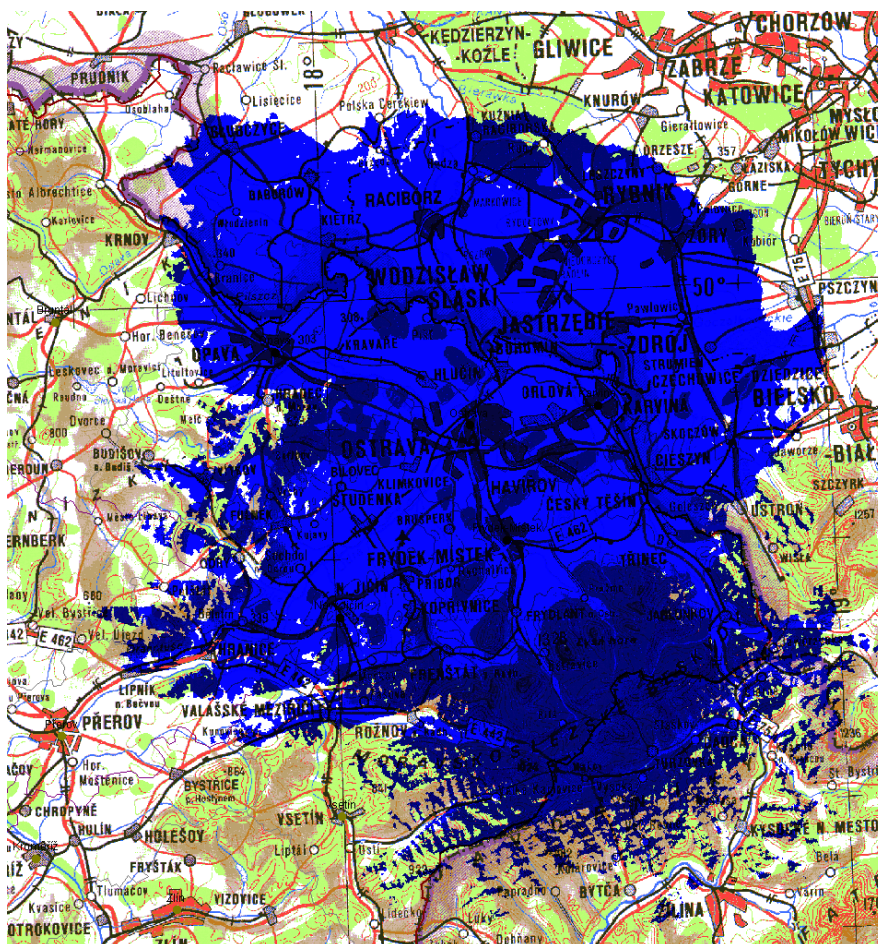
Užitečný vysílač	Kanál	Frekvence [MHz]	Výkon [kW]
Ostrava Hošťálkovice	54	738	100
Ostrava Hladnov	54	738	10
Lysá Hora	54	738	25



Obr. 4.16: Okno **Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí**

Obr. 4.17: Okno *Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí* záložka *Pokrytí*Obr. 4.18: Okno *Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí* záložka *SFN*





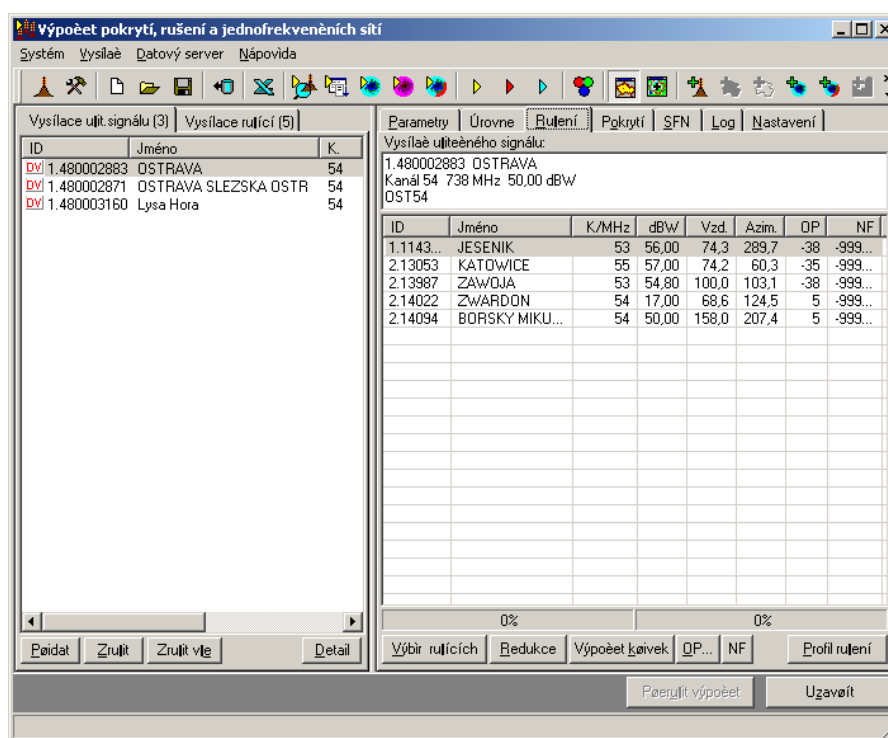
Obr. 4.19: Pokrytí SFN sítě v Moravskoslezském kraji, měřítko 1:500 000

(podrobnější mapa viz Příloha 2, Obr. 4)

## 5 Analýza rušení jednofrekvenční sítě

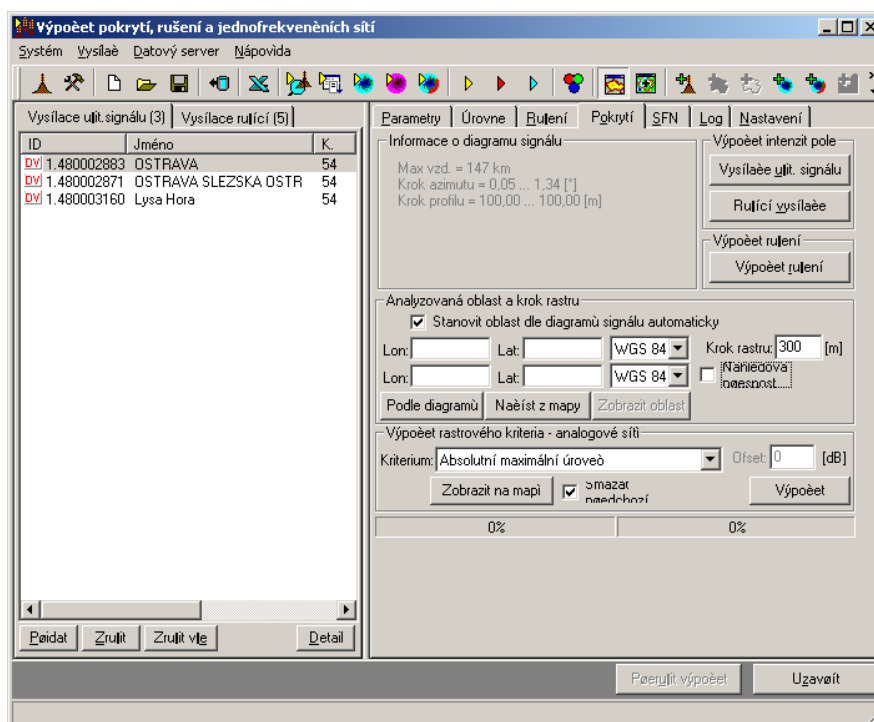
### 5.1 Nastavení parametrů pro výpočet rušení

Pro výpočet rušení v jednofrekvenční síti je potřeba se v okně **Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí** přepnout na záložku **Rušení** a následně kliknout na tlačítko **Výběr rušících** (viz Obr. 5.1). Dojde k zobrazení všech rušících vysílačů, které se nacházejí v databázi. Většina těchto vysílačů se ovšem nachází mimo dosah simulované jednofrekvenční sítě. Proto je důležité tento počet vysílačů zredukovat jen na vysílače, které se nacházejí v okolí jednofrekvenční sítě pomocí tlačítka **Redukce**.

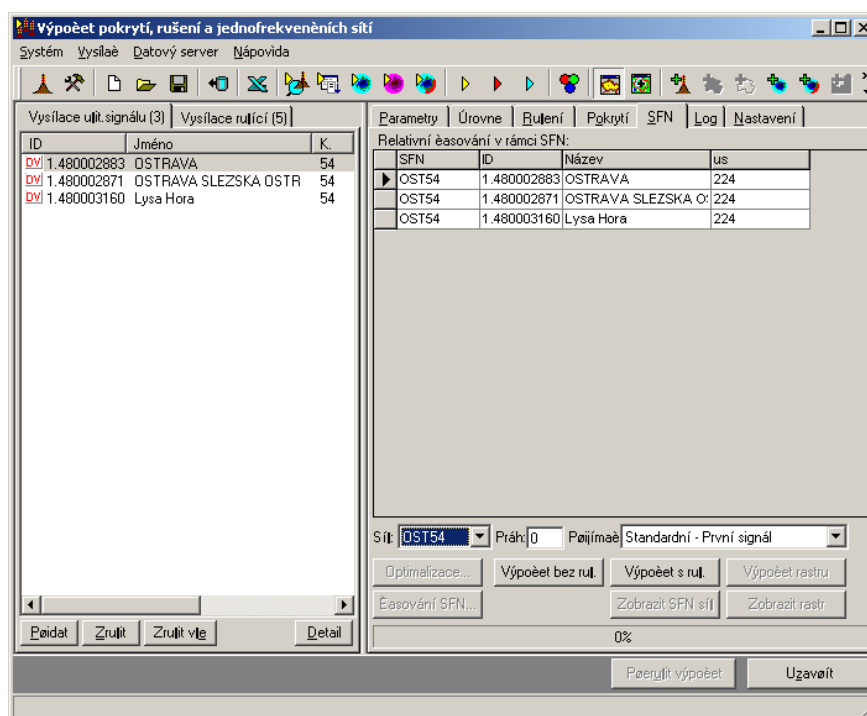


Obr. 5.1: Okno **Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí** záložka **Rušení**

V okně **Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí** je nutné dále přejít na záložku **Pokrytí** a kliknout na tlačítka **Rušící vysílače** a **Výpočet rušení** v sekci **Výpočet intenzit pole** (viz Obr. 5.2).

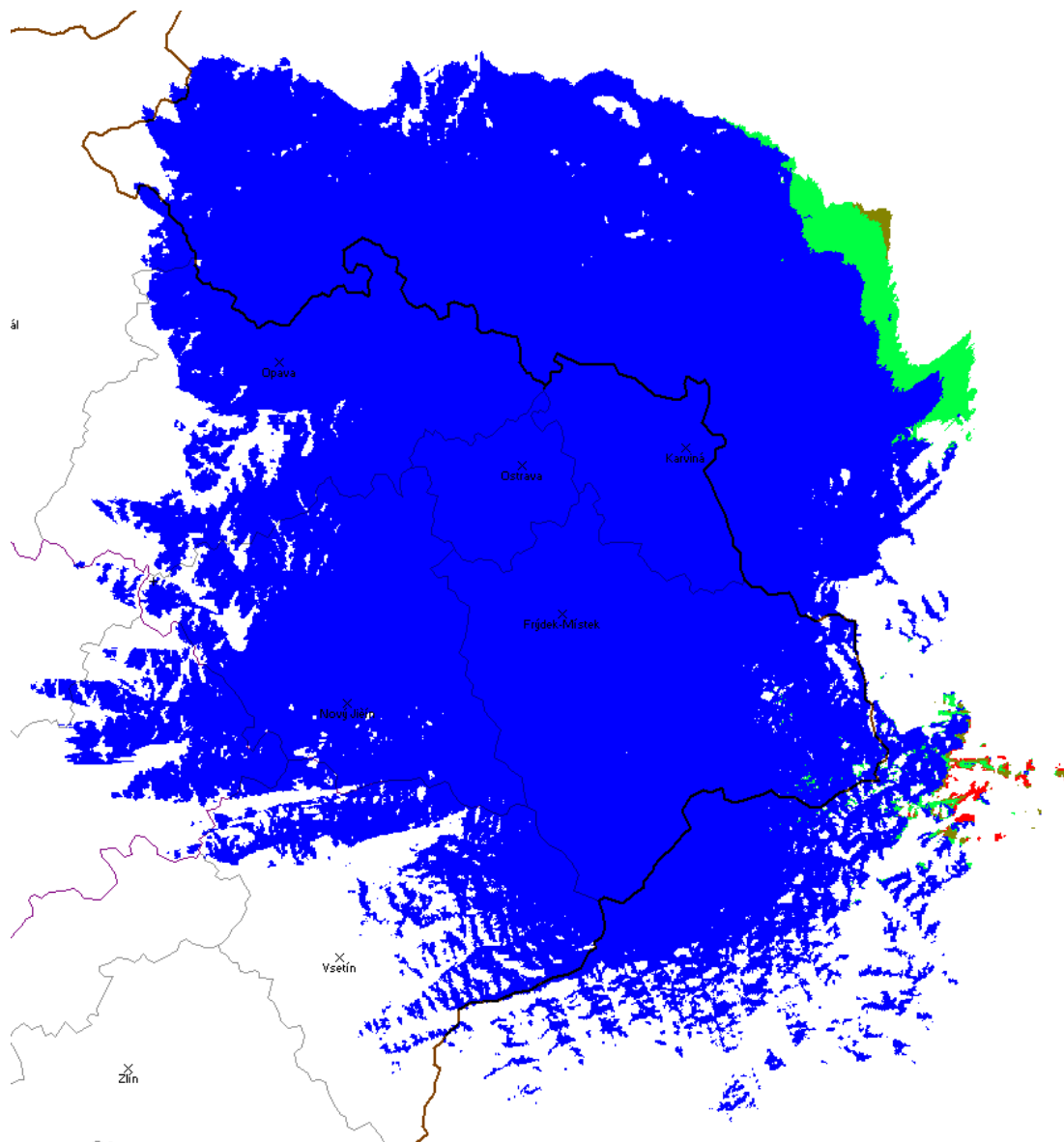
Obr. 5.2: Okno *Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí* záložka *Pokrytí*

Dále je potřeba se přepnout na záložku **SFN** a kliknout na tlačítko **Výpočet s rušením** a následně **Zobrazit SFN síť** (viz Obr. 5.3).

Obr. 5.3: Okno *Výpočet pokrytí, rušení a jednofrekvenčních sítí* záložka *SFN*

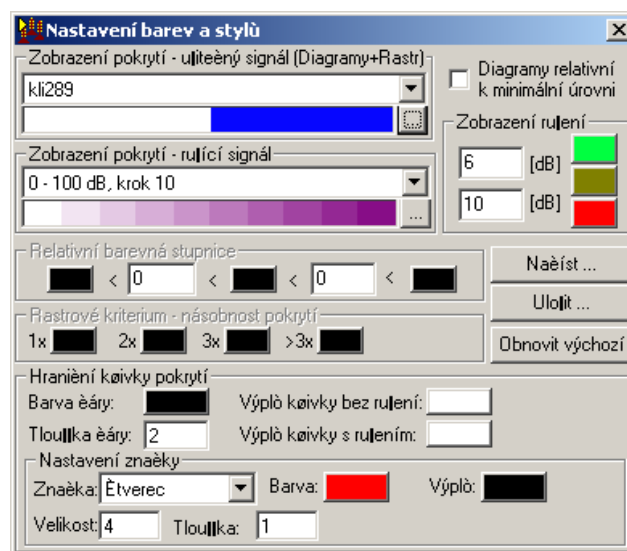


## 5.2 Rušení v jednofrekvenční síti



Obr. 5.4: Rušení v jednofrekvenční síti

Na obrázku Obr. 5.4 je zobrazeno rušení jednofrekvenční sítě. Intenzita rušení (viz Obr. 5.5) je barevně odlišena od intenzity pokrytí. Zelenou barvou je znázorněna intenzita rušení do 6 dB. Intenzita rušení od 6 dB do 10 dB je znázorněna tmavě žlutou barvou. Červenou barvou je znázorněna intenzita rušení nad 10 dB.



Obr. 5.5: Intenzita pokrytí užitečného signálu a intenzita rušení

V tabulce Tab. 5.1 je zobrazen seznam rušících vysílačů pro celou SFN síť. SFN síť pracuje na 54. kanále, a jak je z tabulky patrné, rušící vysílače pracují na kanálech 54 – 1 (53. kanál) a 54 + 1 (55. kanál). Z toho vyplývá, že kanály 53 a 55 jsou pro SFN síť rušícími kanály. Rušící vysílače jsou znázorněny na obrázku Obr. 5.6 a jednotlivé body odpovídají bodům v tabulce Tab. 5.1. Všechny rušící vysílače jsou analogové televizní vysílače. Jedná se o 3 polské vysílače (Katowice, Zawoja a Zwardon), jeden slovenský vysílač (Borský Mikuláš) a jeden český vysílač (Jeseník - Praděd).

Tab 5.1: Tabulka rušících vysílačů pro celou SFN síť (vygenerovaná viz Obr. 5.1)

Bod na mapě	Rušící vysílač	Kanál	Frekvence [MHz]	Výkon [kW]	GPS souřadnice
1	Jeseník	53	727,25	398,11	loc: 50°04'58 17°13'51
2	Katowice	55	743,25	501,19	loc: 50°11'20 19°07'06
3	Zawoja	53	727,25	302	loc: 49°39'00 19°34'00
4	Zwardon	54	735,25	0,05012	loc: 49°30'32 18°59'47
5	Borský Mikuláš	54	735,25	100	loc: 48°35'38 17°13'25



Obr. 5.6: Mapa s vyznačenými rušícími vysílači (vlastní návrh)

Tab. 5.2: Rušení jednotlivých vysílačů v SFN

Užitečný vysílač	Rušící vysílače	Vzdálenost mezi vysílači [km]
Ostrava Hošťálkovice	Zwardon	68,6
	Katowice	74,2
	Jeseník	74,3
Ostrava Hladnov	-	-
Frýdek Místek – Lysá hora	Zwardon	39,7
	Zawoja	81,3
	Katowice	86
	Jeseník	105,7
	Borský Mikuláš	138,4

Z obrázku Obr. 5.4 rušení v jednofrekvenční síti lze vyčíst, že k rušení dochází pouze na polském území. Z vysílače Katowice je rušení jednofrekvenční sítě do 10 dB. Z vysílačů

Zwardon a Zawoja je však rušení nad 10 dB. Rušení z vysílače Jeseník a Borský Mikuláš se na pokrytí jednofrekvenční sítě neprojevilo.

### 5.3 Situace u jiných jednofrekvenčních sítí

Kromě jednofrekvenční sítě v Moravskoslezském kraji se nacházejí i jednofrekvenční sítě ve Středočeském a Jihomoravském kraji. Ve Středočeském kraji se SFN síť skládá z vysílačů: Praha Žižkov, Praha Cukrák a Votice. V Jihomoravském kraji SFN síť obsahuje vysílače: Brno Kojál, Brno Hády, Brno Barvičova a Mikulov - Děvín. U těchto SFN sítí byla zvolena u různých vysílačů různá polarizace, což nakonec vyústilo ve velké problémy na straně příjmu. Do hry se totiž vložila nepřipravenost na tuto změnu a neinformovanost o tom, jak se zachovat při problémech s příjmem po této změně. [5]

U SFN vysílačů nezáleží, jakou polarizaci daný vysílač vysílá. Na přenos signálu to nemá žádný vliv. Naopak, je to ještě výhodnější, pokud tím chceme zdůraznit separaci těchto vysílačů. Divák jednoduše zvolí polarizaci vysílače, který je mu nejbližší a většinou také nejsilnější. Při volbě polarizace totiž dochází k útlumu signálu v opačné polarizační rovině o 20 až 30 dB. Pokud se však v blízkosti nachází dva vysílače s velkým výkonem, může dojít k tomu, že díky správné polarizaci přijímáme vzdálenější vysílač než ten, který je v jeho blízkosti. Tato situace nastala u vysílačů Praha Žižkov a Praha Cukrák.

Tuto situaci zapříčinila vertikální polarizace na vysílači Praha Žižkov. Při vertikální polarizaci se signál lépe šíří městskou zástavbou. Protože se do té doby vysílalo u nás s horizontální polarizací, všechny antény byly nastaveny horizontálně. Oblasti problematického příjmu byly v podstatě dvě - u diváků, kteří byli blíže vysílači Praha Žižkov než Praha Cukrák a přijímali mezi těmito vysílači. Další problematická oblast byla u diváků, u kterých oba tyto vysílače leží v jednom směru, ale jsou blíže k vysílači Praha Žižkov. Vzdálenější vysílač, který by měl být znevýhodněn vůči bližšímu díky ochrannému intervalu, byl na druhou stranu zvýhodněn volbou horizontální polarizace přijímací antény, ve které vysílač Praha Cukrák vysílá, na rozdíl od vysílače Praha Žižkov, který je ve vertikální polarizaci. Došlo tak k opačné situaci, než jaká by měla nastat. Místo škodlivého signálu, který by byl opožděn vůči žádanému, vznikl škodlivý signál předbíhající. Tato situace se nazývá pre-echo a je nutno s ním počítat i v budoucnu při volbě přijímačů. Přijímače by se měly vybírat podle toho, jak si v problematické oblasti dokáží s pre-echem poradit. Vše se dá vyřešit volbou správné polarizace podle bližšího vysílače. Veřejnost by však o změně polarizace měla vědět.[5]

## 6 Závěr

V teoretické části diplomové práce jsem popsal princip funkce jednofrekvenčních sítí. Hlavním cílem této práce bylo nasimulovat pokrytí digitálním televizním signálem v jednofrekvenční síti v multiplexu 1, jenž se nachází v kapitole 4. V této kapitole se rovněž nachází stručný postup, jak jednotlivé pokrytí vysílačů nasimulovat v programu Radiolab. Z výsledné simulace vyplývá, že digitální televizní signál bude od 30. června 2010 dostupný v celém Moravskoslezském kraji. Digitální signál bude zasahovat i do Polska. Jak je již v této práci zmíněno tak jednofrekvenční sítě mají řadu výhod. Vysílače v jednofrekvenční síti vysílají na stejné frekvenci, tím se efektivněji využívá kmitočtového spektra a lépe pokrývají problematická místa signálem. Vysílače ovšem musejí být synchronizovány a vysílat stejné informace ve stejný okamžik.

U jednofrekvenčních sítí budovaných pro DVB-T je maximální odstup jednotlivých vysílačů až 67,1 km. Nová verze standardu digitální televize DVB-T2 umožňuje odstup těchto vysílačů zvětšit až do 269 km. Tím by se zvětšilo i pokrytí území. Český telekomunikační úřad udává, že přechod na standard DVB-T2 bude již v roce 2013.[20] Od DVB-T2 se slibuje hlavně nástup televize s vysokým rozlišením HDTV. Je však nutné dodat, že stávající přijímače (set-top boxy) pro DVB-T nebudou kompatibilní s DVB-T2.

Pokrytí digitálním televizním signálem mají nyní na starosti v Moravskoslezském kraji vysílače Ostrava Hladnov a Ostrava Hošťálkovice. Od 30. července začne vysílat vysílač Frýdek Místek – Lysá hora a vytvoří tak kompletní jednofrekvenční síť pokrývající většinu kraje. Plánuje se také postupné vypínání analogové televize. Vysílač Ostrava Hošťálkovice plánuje do 30. listopadu 2011 postupně vypnout všechny své stanice, které jsou vysílány analogově (tzn. ČT2, Prima, ČT1 a Nova). U vysílače Frýdek Místek – Lysá hora dojde k vypnutí analogového vysílání ČT2 již 30. dubna 2011. Kompletně všechny typy analogových vysílačů v Moravskoslezském kraji by měly ukončit vysílání k poslednímu listopadovému dni v roce 2011.[21] Česká republika by měla kompletně přejít k příjmu digitálního pozemního televizního signálu koncem roku 2012, kdy bude také vypnuto analogové televizní vysílání. [22]

Přínosem této diplomové práce jsou mapy pokrytí digitálním televizním vysíláním ještě neexistující jednofrekvenční sítě v Moravskoslezském kraji. Mapy pokrytí se nacházejí v příloze číslo 1 na CD-ROM disku a v příloze číslo 2.

## Použitá literatura

- [1] GREGORA, Pavel; VÍT, Vladimír. *Televizní technika : Zařízení pro přenos a vysílání televizního signálu*. 1. vydání. Praha : BEN, 2000. 175 s. ISBN 80-86056-89-9.
- [2] *Radiokomunikace 2009 : Sborník přednášek*. Pardubice : UNIT s.r.o., 2009. 185 s.
- [3] ŘÍČNÝ, Václav; KRATOCHVÍL, Tomáš. *DVB-T* [online]. 2010 [cit. 2010-01-27]. Současný stav a výhledy digitálního televizního a rozhlasového vysílání. Dostupné z WWW:  
<[www.urel.feec.vutbr.cz/web\\_pages/projekty/clanky/Ricny\\_Kratochvil\\_DTV/Soucasny\\_stav\\_2.ppt](http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_pages/projekty/clanky/Ricny_Kratochvil_DTV/Soucasny_stav_2.ppt)>.
- [4] ŽALUD, Václav. *Digitální televize a digitální rozhlas současnost a perspektivy* [online]. 2009 [cit. 2010-01-11]. Digitální televize a digitální rozhlas současnost a perspektivy. Dostupné z WWW:  
<<http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2009/06/zalud.pdf>>.
- [5] KŘÍŽ, David. *DigiZone.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-02-05]. Jednofrekvenční síť SFN – východisko z kmitočtové nouze nebo jen zdroj nových problémů?. Dostupné z WWW:  
<<http://www.digizone.cz/clanky/jednofrekvenzni-site-sfn-vychodisko-z/>>.
- [6] BEDNÁŘ, Jiří. *Digitální televize : Populární průvodce technologií DVB-T*. 1. vydání. Praha : Sdělovací technika, 2006. 115 s. ISBN 80-86645-11-8.
- [7] MILET, Olivier. *Technical Overview of Single Frequency Network* [online]. 2005 [cit. 2010-02-15]. Technical Overview of Single Frequency Network. Dostupné z WWW:  
<[http://www.broadcastpapers.com/whitepapers/Single\\_frequency\\_network\\_overview\\_ENSENSYS.pdf?CFID=16856575&CFTOKEN=23dfd9e0056a0554-CAD6C276-9569-9782-28C6E794E72C1F3C](http://www.broadcastpapers.com/whitepapers/Single_frequency_network_overview_ENSENSYS.pdf?CFID=16856575&CFTOKEN=23dfd9e0056a0554-CAD6C276-9569-9782-28C6E794E72C1F3C)>.

- 
- [8] LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. 1. vydání. Praha : BEN, 2006. 286 s. ISBN 80-7300-204-3.
- [9] *DigiZone.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-02-18]. Digitální vysílací sítě (multiplexy) v České republice. Dostupné z WWW: <<http://digitalnitelevize.cz/informace/dvb-t/dvb-t-v-ceske-republice.html>>.
- [10] *DigiZone.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-03-09]. Ostrava. Dostupné z WWW: <http://regiony.digizone.cz/ostrava/>.
- [11] KRATOCHVÍL, Tomáš; ŘÍČNÝ, Václav. *IEEEExplore* [online]. 2010 [cit. 2010-03-10]. Simulation and Experimental Testing of the DVB-T Broadcasting in the SFN Networks. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04542691>>.
- [12] FISCHER, Walter. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology : A Practical Engineering Guide*. 3. vydání. München : Springer, 2009. 811 s. ISBN 978-3-642-11611-7.
- [13] ŘÍČNÝ, Václav. *Elektrorevue.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-03-27]. Jednofrekvenční sítě digitálních vysílačů . Dostupné z WWW: <[http://www.urel.feec.vutbr.cz/web\\_pages/projekty/clanky/Ricny\\_Kratochvil\\_DTV/Jednofrekv\\_site.pdf](http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_pages/projekty/clanky/Ricny_Kratochvil_DTV/Jednofrekv_site.pdf)>.
- [14] ŘÍČNÝ, Václav. [online]. 2008 [cit. 2010-03-27]. Single Frequency Networks (SFN) in Digital Terrestrial Broadcasting. Dostupné z WWW: <[http://www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07\\_04\\_002\\_006.pdf](http://www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07_04_002_006.pdf)>.
- [15] ŠTUKAVEC, Radim; KRATOCHVÍL, Tomáš. [online]. 2009 [cit. 2010-03-28]. Aplikace pro simulaci vysílání DVB-T využívající communications toolbox. Dostupné z WWW: <[dsp.vscht.cz/konference\\_matlab/MATLAB09/prispevky/101\\_stukavec.pdf](http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB09/prispevky/101_stukavec.pdf)>.
- [16] Fotka vysílače Ostrava Hošťálkovice, [cit. 2010-02-25]. Dostupná z WWW: <[http://radiomap.eu/cz/ostrava/hostalkovice\\_02.jpg](http://radiomap.eu/cz/ostrava/hostalkovice_02.jpg)>

- 
- [17] Fotka vysílače Ostrava Hladnov, [cit. 2010-02-25]. Dostupná z WWW: <[http://mm.denik.cz/57/1e/vysilac\\_televize\\_ostrava\\_denik\\_clanek\\_solo.jpg](http://mm.denik.cz/57/1e/vysilac_televize_ostrava_denik_clanek_solo.jpg)>
- [18] Fotka vysílače Frýdek Místek - Lysá Hora, [cit. 2010-02-25]. Dostupná z WWW: <<http://static.panoramio.com/photos/original/439404.jpg>>
- [19] ŘÍČNÝ, Václav. *Digizone.cz* [online]. 22.4.2010 [cit. 2010-03-29]. DVB-C2, digitální kabelová televize druhé generace. Dostupné z WWW: <<http://www.digizone.cz/clanky/dvb-c2-digitalni-kabelovka-druhe-generace/>>.
- [20] POTŮČEK, Jan. *Digizone.cz* [online]. 29.5.2008 [cit. 2010-04-30]. ČRa: V roce 2013 kompletně přejdeme na DVB-T2 a MPEG-4. Dostupné z WWW: <<http://www.digizone.cz/aktuality/cra-v-roce-2013-prejde-na-dvb-t2-a-mpeg-4/>>.
- [21] *Digizone.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-30]. Územní oblast Ostrava. Dostupné z WWW: <<http://vypiname.digizone.cz/uzemni-oblast-ostrava/>>.
- [22] *Digitalnik.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-30]. Vypínání analogového vysílání. Dostupné z WWW: <<http://www.digitalnik.cz/dt/vypinani-analogoveho-vysilani/>>.



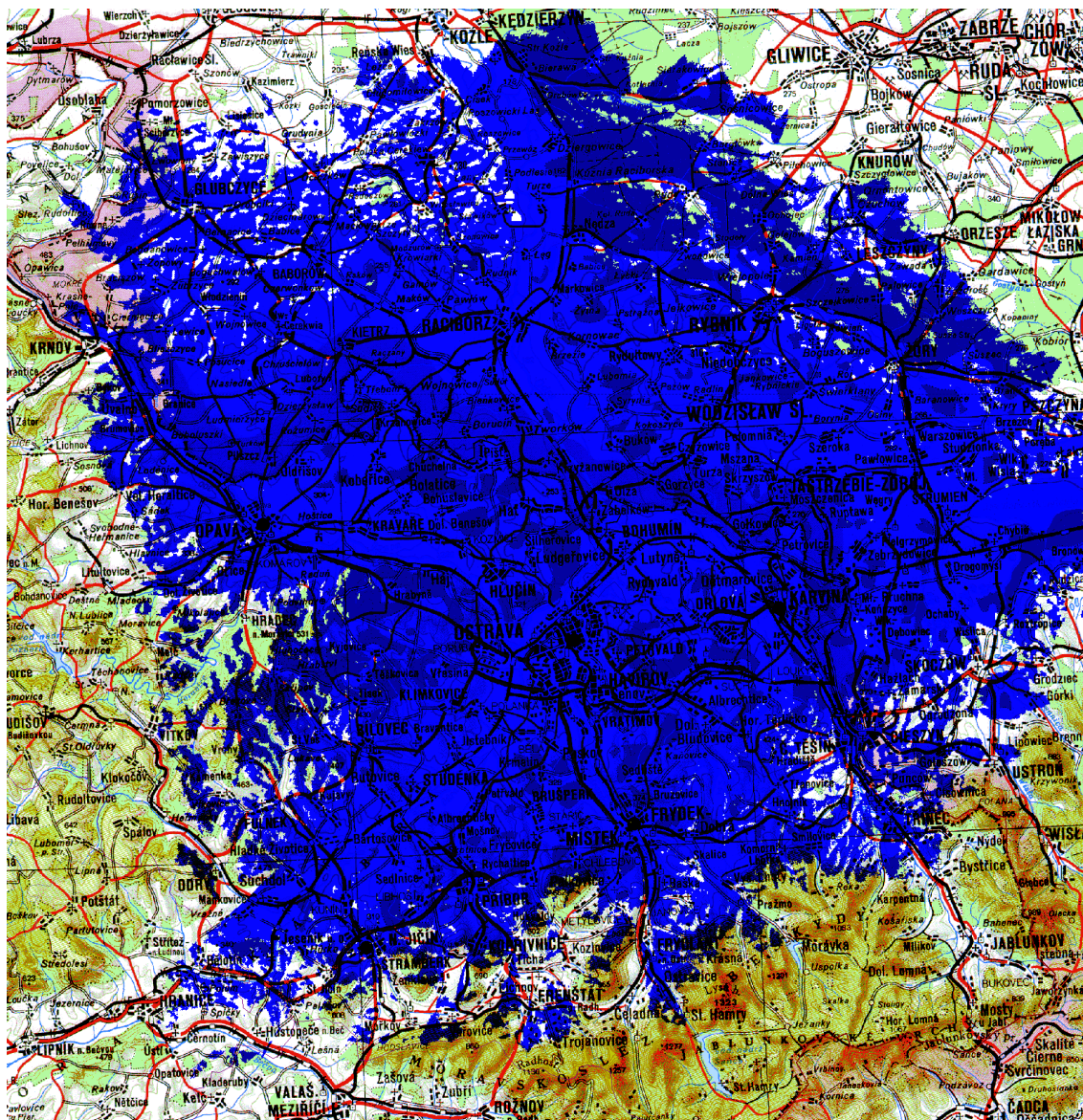
---

## Seznam příloh

### Příloha číslo:

1. CD-ROM (mapy pokrytí signálem z multiplexu 1 ve složce **mapy pokryti**)
2. Mapy pokrytí signálem z multiplexu 1

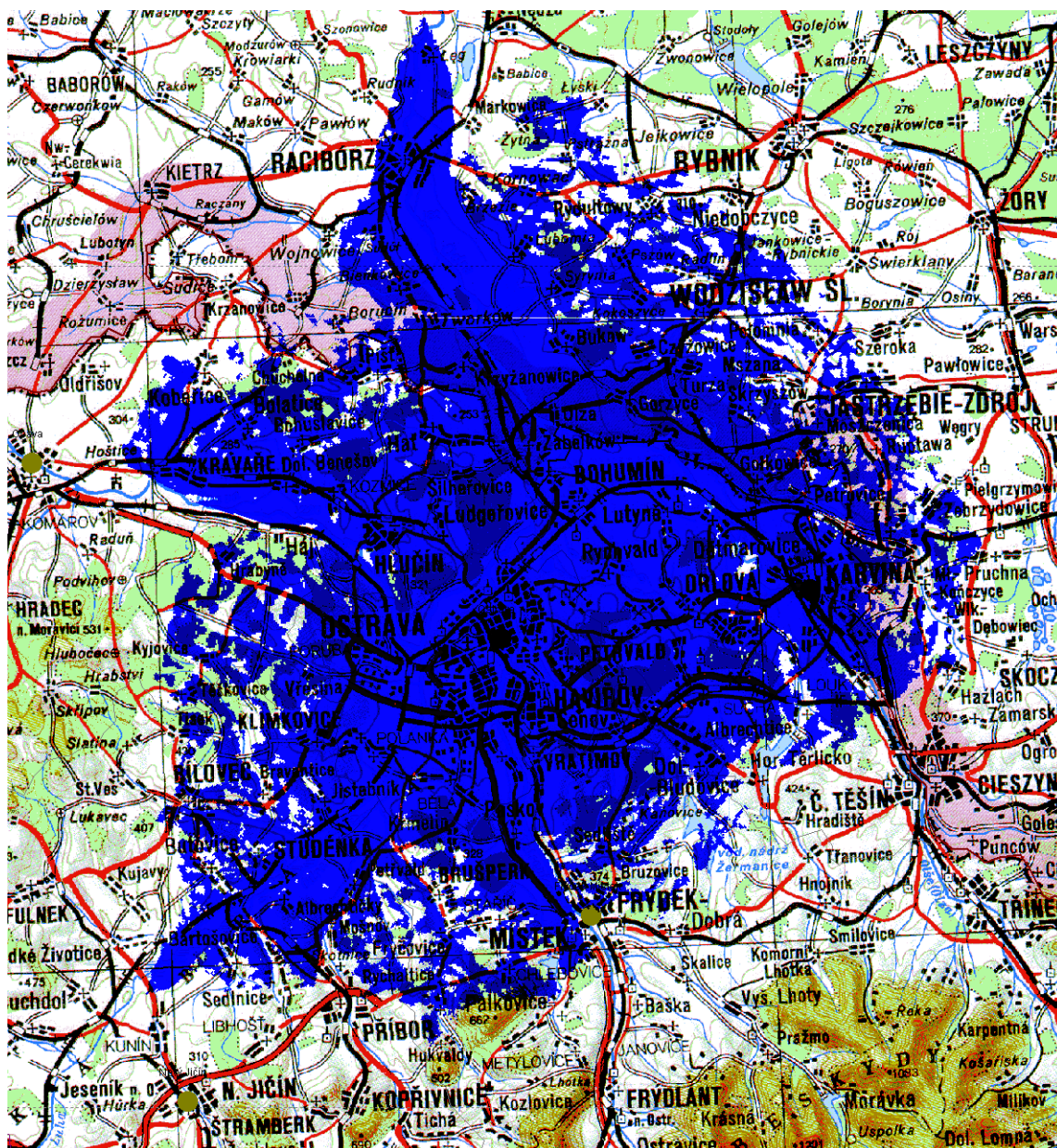
## Příloha číslo 2



Obr. 1: Multiplex 1 z vysílače Ostrava Hošťálkovice (měřítko 1:200 000)

(viz také příloha číslo 1, mapy pokryti/Ostrava Hostalkovice.jpg)

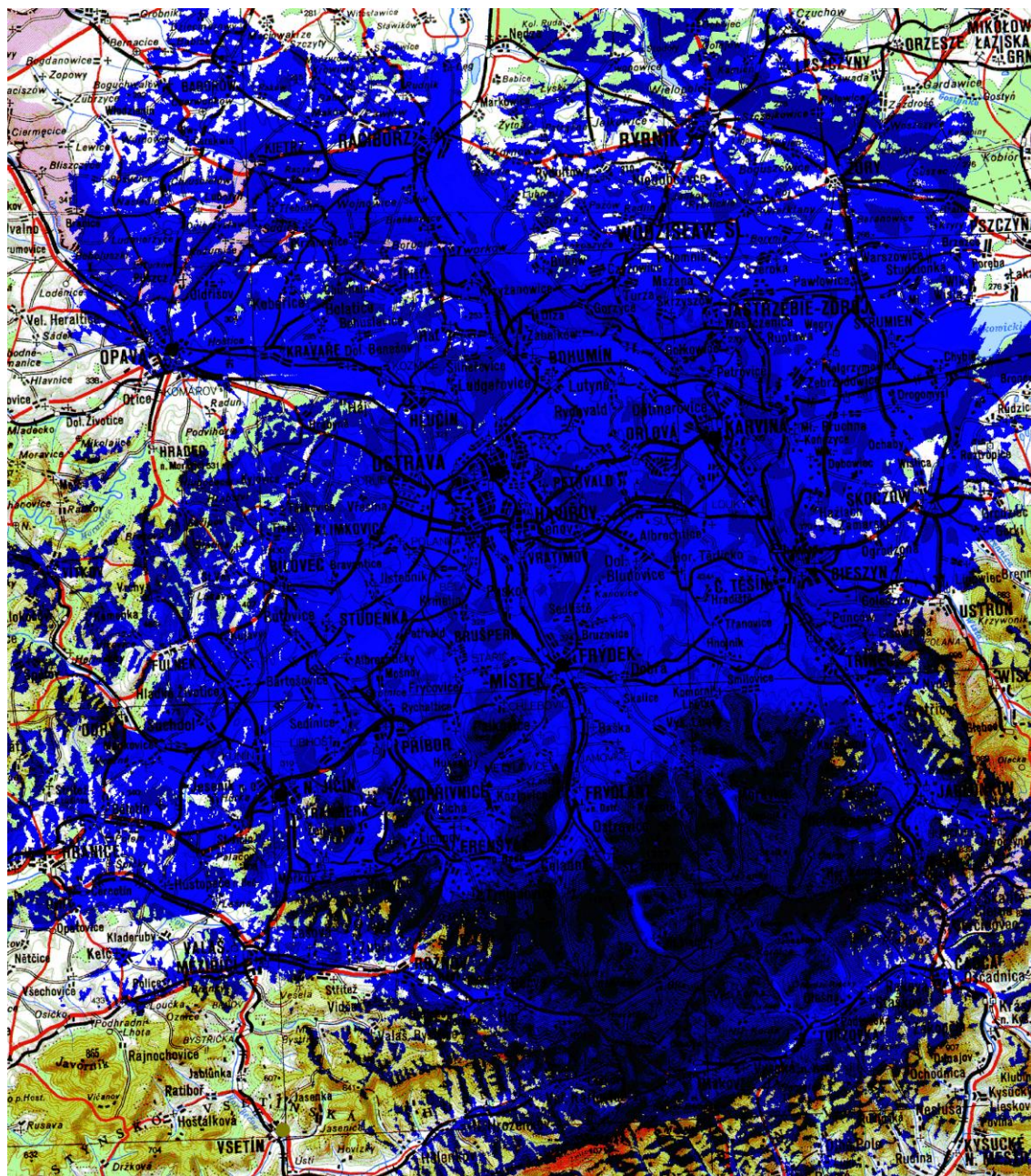




Obr. 2: Multiplex 1 z vysílače Ostrava Hladnov (měřítko 1:200 000)

(viz také příloha číslo 1, mapy pokrytí/Ostrava Hladnov.jpg)

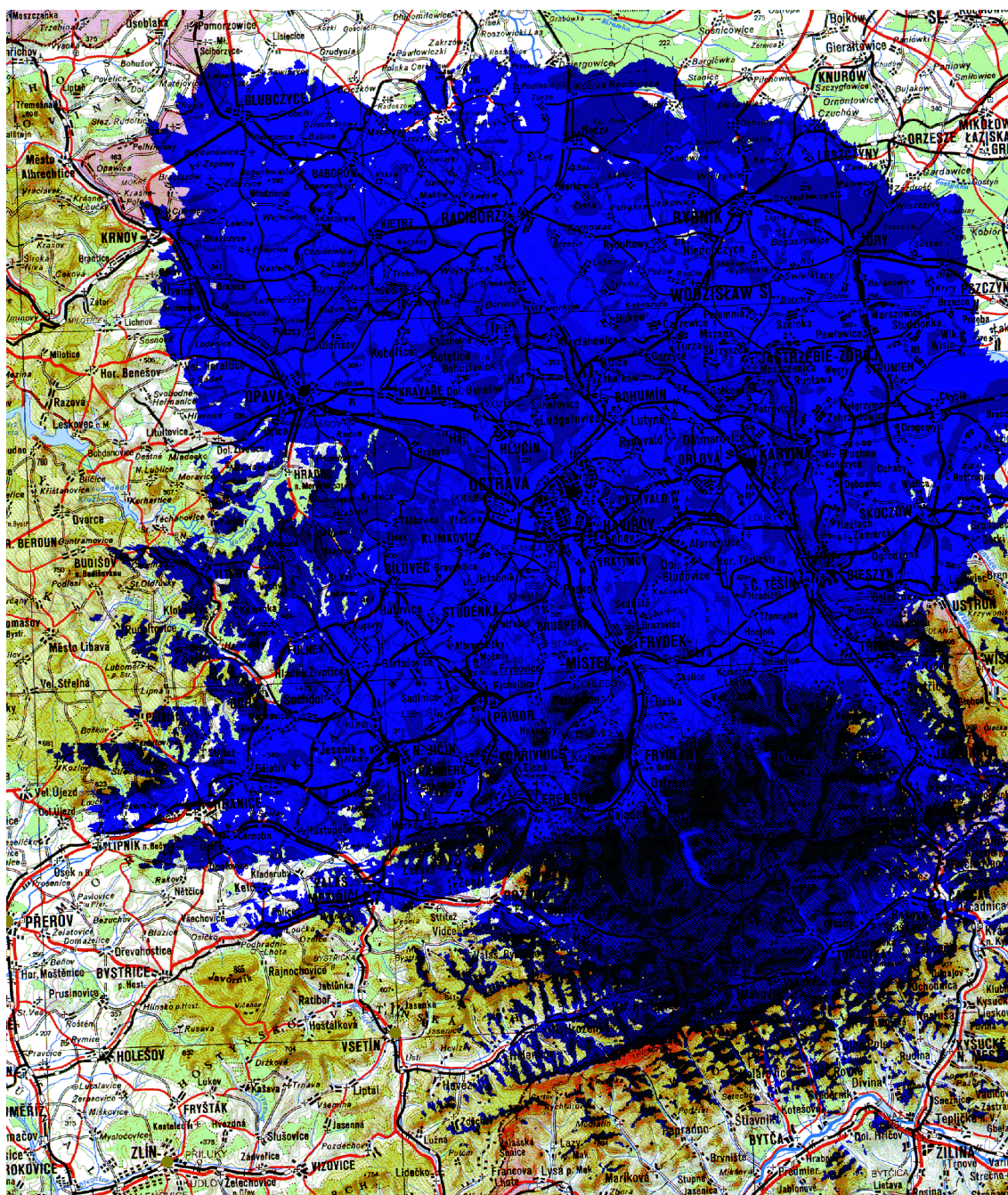




Obr. 3: Multiplex 1 z vysílače Frýdek Místek – Lysá hora (měřítko 1:200 000)

(viz také příloha číslo 1, mapy pokrytí/Frydek Mistek – Lysa hora.jpg)





Obr. 4: Pokrytí multiplexu 1 SFN sítě (měřítko 1:200 000)

(viz také příloha číslo 1, mapy pokryti/SFN.jpg)